

# Természet Világa

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY

150. évf. 8. sz.

2019. AUGUSZTUS

ÁRA: 800 Ft

Előfizetőknek: 670 Ft

NAGYVÁROSAINK VÁLTOZÓ TÉRBEN  
VÍZKUTATÁS A SZAHARÁBAN  
LÁBNYOMOK A KŐBEN  
EGZOTIKUS PLANÉTÁK  
ELVÁRT FÁJDALOM







1



2



4

5



3



A Kaliforniában évről évre egyre intenzívebben tomboló tűzvészek sem embert, sem anyagi javat nem kímélnek

1. A dombon átcsapó lángok több lakóházat is veszélyeztetnek
2. A tűzoltók megpróbálják lassítani a tűz tovább terjedését
3. A tűz martalékává vált családi ház
4. A katasztrófa sújtotta terület szinte marsbéli tájra emlékeztet
5. Kilátástalannak tűnő küzdelem a lángokkal  
(A képek forrása: [businessinsider.com](https://www.businessinsider.com))



A TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ  
TÁRSULAT FOLYÓIRATA

Megindította 1869-ben

SZILY KÁLMÁN

KIRÁLYI MAGYAR

TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖZLÖNY  
150. ÉVFOLYAMA

2019. 8. sz. AUGUSZTUS

Magyar Örökség-díjas és

Millenniumi Díjas folyóirat



Megjelenik a Nemzeti Kulturális Alap,  
az Emberi Erőforrások Minisztériuma,  
az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő,  
a Magyar Művészeti Akadémia,  
Magyar Tudományos Akadémia és a  
Nemzeti Tehetség Program támogatásával.

Főszerkesztő: GÖZÖN ÁKOS

Szerkesztőség:

1088 Budapest, Bródy Sándor u. 16.

Telefon: 06-1-327-8950, fax: 06-1-327-8969

E-mail-cím: info@termvil.hu

Internet: termvil.hu

Felelős kiadó:

PIRÓTH ESZTER

a TIT Szövetségi Iroda igazgatója

Kiadja a Tudományos Ismeretterjesztő Társulat

1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.

Telefon: 06-1-327-8900

Nyomás:

PAUKER Nyomda

Felelős vezető:

Vértess Gábor

INDEX25 807

HU ISSN 0040-3717

Hirdetésfelvétel a szerkesztőségben

Korábbi számok megrendelhetők:  
Tudományos Ismeretterjesztő Társulat  
1088 Budapest, Bródy Sándor utca 16.  
Telefon: 06-1-327-8950  
e-mail: info@termvil.hu

Előfizetés, reklamáció:

Magyar Posta Zrt.

Telefon: 06-1-767-8262

E-mail: hirlapelofizetes@posta.hu

Internet: eshop.posta.hu

Postacím: MP Zrt., Budapest 1900.

Előfizetésben terjeszti: Magyar Posta Zrt.  
Árusításban megvásárolható a Lapker Zrt.  
árusítóhelyein.

Előfizetési díj:

fél évre 4200 Ft, egy évre 8040 Ft

**FUTÓ PÉTER:** Szénben gazdag planéták – Egzotikus és bizarr világok ..... 338

**KOVÁCS ÁRPÁD FERENC:** A szabályozó T-sejteket meghatározó HSPE1,  
azaz a várandósság sorsdöntő génje –

A terheesség titkos sorsának felderítése ..... 343

**HAJNAL BÉLA:** Nagyvárosaink a változó térben –

Pillanatfelvétel a Modern városok programjának startjánál..... 347

**KÖKÖNYEI GYÖNGYI – PETSCHNER ANNA – JUHÁSZ GABRIELLA:**

Hogyan hathatnak elvárásaink a fájdalomészlelésre? – Biztosan fájni fog!..... 352

**SCHILLER RÓBERT:** 150 sor a tudományról a 150 éves

Természet Világában – Kémia túl a kémián ..... 357

**BENKÓ ZSOLT:** Expedíció az egyik legszárazabb országban –

Magyar vízkutatók a Szaharában..... 361

Beszélgetés a Széchenyi-díjas Kiss L. László akadémikussal (**Trupka Zoltán**) ..... 367

**KORDOS LÁSZLÓ – MÉSZÁROS ILDIKÓ:**

Az Év Ősmeradványa – Lábnyomok a kőben..... 371

**FÖLDTUDOMÁNYI FIGYELŐ (Szoucek Ádám)** ..... 377

**FOLYÓIRATSZEMLE (Landy-Gyebnár Mónika, Szabó Márton)** ..... 380

**HÍREK (Dulai Alfréd, Landy-Gyebnár Mónika)** ..... 383

**Címlapképünk:** Illusztráció a *Kémia túl a kémián* című cikkhez

**Borítólapunk második oldalán:** Illusztrációk a *Földtudományi figyelő* rovatunkhoz

**Borítólapunk harmadik oldalán:** Illusztrációk a *Magyar vízkutatók a Szaharában*  
című cikkhez

**Mellékletünk:** A XXVIII. Természet–Tudomány Diák pályázat cikke

(**Kovács Johanna** és **Melles Márk**: Fejedelmi nagyvadunk, a gímszarvas)

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Elnök: VIZI E. SZILVESZTER

Tagok: ABONYI IVÁN, BACSÁRDI LÁSZLÓ, **BENCZE GYULA**, BOTH ELŐD, CSABA GYÖRGY,  
HORVÁTH GÁBOR, KECSKEMÉTI TIBOR, KORDOS LÁSZLÓ, LOVÁSZ LÁSZLÓ, NYIKOS LAJOS,  
PAP LÁSZLÓ, PATKÓS ANDRÁS, RESZLER ÁKOS, SCHILLER RÓBERT, CHARLES SIMONYI,  
SÓTONYI PÉTER, SZATHMÁRY EÖRS, SZERÉNYI GÁBOR, VIDA GÁBOR, WESZELY TIBOR

Főszerkesztő-helyettes:

PÁSZTOR BALÁZS (pasztor.balazs@eletestudomany.hu; 06-1-327-8952)

Szerkesztők:

TEGYES MÁRIA (tegyes.maria@termvil.hu; 06-1-327-8954)

LŐRINCZ HENRIK (lorincz.henrik@termvil.hu; 06-1-327-8961)

NYERGES GYULA (nyerges.gyula@termvil.hu; 06-1-327-8960)

SZOUCEK ÁDÁM (szoucek.adam@termvil.hu; 06-1-327-8951)

Tervezőszerkesztő: LÉVÁRT TAMÁS

Szerkesztőségi irodavezető:

DEME LÍVIA (info@termvil.hu; 06-1-327-8950)





SZÉNEN GAZDAG PLANÉTÁK

## Egzotikus és bizarr világok

A Tejútrendszerben nagy számban létezhetnek olyan bolygók, melyek kémiai összetétele merőben különbözik a Földétől vagy a Marsétól. Egyesek fémekben, míg mások szénben akár jelentős mértékben gazdagabbak lehetnek, mint a Naprendszer Föld-típusú bolygói. A szénben gazdag planéták között előfordulhatnak egzotikus, sőt bizarrnak nevezhető világok is, melyek eddig csupán a sci-fi szerzők képzeletében éltek. Egyre több jel mutat arra, hogy az eddig látottaktól különböző bolygók valóban létezhetnek és a nem is olyan távoli jövőben a felfedezéseknek köszönhetően tudományos tényként kezelhetjük majd őket.

A szén a negyedik leggyakoribb elem a Világegyetemben, csupán a hidrogén, a hélium és az oxigén előzi meg a sorban. A Naprendszer kőzetbolygói azonban szénben meglehetősen szegény égitestek, a fémes összetevők mellett döntően oxigénben gazdag ásványok, szilikátok és oxidok építik fel őket. Földünk például kevesebb, mint 0,01 százalék szenet tartalmaz. Marc Kuchner és munkatársai kozmokémiai és asztrofizikai megfontolások alapján vetették fel, hogy galaxisunkban olyan bolygótestek is létezhetnek, melyeket túlnyomórészt szén alapú ásványok építenek fel [1].

A protoplanetáris korong (protoplanetary disk, PPD) anyagában a szénnek az oxigénhez viszonyított aránya (C/O) kulcsfontosságú tényező, mert döntő mértékben meghatározza a keletkező bolygók kémiai összetételét. A Naprendszerben a C/O arány 0,55. Azonban ha egy protoplanetáris korongban a C/O arány nagyobb, mint 1, akkor az abban kialakuló sziklás bolygóknak uralodóan szén alapú ásványi összetétele lesz. A szilárd

felszínű bolygótestekben a leggyakoribb szén alapú ásványi összetevők a grafit, a gyémánt, valamint a különböző karbidok lehetnek, melyek fémek és félfémek szénnel alkotott vegyületei. A karbidok közül planetáris testekben egyéb ásványfajták mellett nagy valószínűség szerint a szilícium-karbid (SiC), titán-karbid (TiC), valamint a vas-karbidok ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Fe}_7\text{C}_3$ ) fordulhatnak elő leggyakrabban. Egy tanulmány szerint a szénben bővelkedő összetételű planéták a korábban gondoltnál nagyobb gyakorisággal fordulhatnak elő, ugyanis 0,8 feletti C/O arány esetén nemcsak a csillag közelében keletkezhetnek szénbolygók, hanem a születő bolygórendszer külső régióiban is. A kutatók vizsgálatai arra is rámutattak, hogy 0,65-0,8 közötti, de még akár 0,65-nál kisebb C/O arány mellett is kialakulhatnak szénben gazdag bolygók a PPD-k csillaghoz közeli zónájában [2].

0,8-nél kisebb C/O aránynál a szilícium szilikátásványokban van jelen. Ha pedig a C/O arány 0,8 és 1 közötti, akkor karbidok és szilikátok egyaránt részt vesznek a



kialakuló kis tömegű bolygók alsó köpenyének felépítésében (szén-szilikát bolygók). A kőzetbolygók szilikát ásványaiban szénben gazdag ásványi környezetben – megfelelő fizikai feltételek mellett – az oxigént helyettesítheti a szén. Ezek az úgynevezett oxikarbidok ( $\text{SiO}_x\text{C}_{4-x}$ ) [3], melyek nagy valószínűség szerint megtalálhatók a szén-szilikát bolygók köpenyében és alsó kérgében [4, 5].

A szenes planétákon az ég színét leginkább a sárga különféle árnyalatai jellemezhetik, a légkör összetevői uralkodóan szénvegyületek ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ). A csapadék a körülményektől függően bután és benzol is lehet, a felszínen metán, illetve olajos összetételű iszap- és szuroktavak is létezhetnek.

Ilyen szénbolygók keletkezhetnek a csillagok különböző fejlődési végállapotai körüli, magas széntartalmú csillagközeli környezetben is, így például pulzárok és fehér törpék kísérői is lehetnek. A formálódó bolygórendszerekben a bolygótestek összetételének alakulása a galaxison belüli elhelyezkedéstől is függ. A C/O arány a galaxisok peremvidékétől a középpont irányába haladva nő, emellett értéke magasabb az idős csillagokból álló halmazokban. Így Napunk galaktikus környezetéhez képest a jövőben nagyobb eséllyel fedezhetünk majd fel szénbolygókat a Tejútrendszer centrumának vidékén, valamint az öreg csillagokat tartalmazó gömbhalmazokban is. A Világegyetem fejlődésével párhuzamosan nő a szénnek az oxigénhez viszonyított aránya, amely azt eredményezi, hogy a galaxisokban a szilikátos köpenyű és kérgű bolygókéhoz viszonyítva fokozatosan nő a szén alapú ásványokból felépülő bolygók aránya.

### Égi gyémántok

Különleges keletkezési körülmények között rendkívül magas lehet a szénnek az egyéb elemekhez viszonyított aránya, ilyen kémiai körülmény mellett pedig a kialakuló bolygószerű objektum akár teljes egészében gyémántból állhat. Az 5,7 milliszekundumos PSR J1719–1438 jelű pulzár kísérője (PSR J1719–1438 b) egy, a csillagtárs intenzív sugárzása hatására anyagának jelentős részét elvesztett csillagmaradványból (fehér törpe) átalakult bolygószerű objektum [6, 7]. A mintegy 2,6 Jupiter-tömegű, legalább  $23,3 \text{ g/cm}^3$  átlagsűrűségű, valószínűleg főként gyémánttá átalakult szénből felépülő, rendkívül alacsony tömegű szén fehér törpe (ultra-low mass carbon white dwarf) mindössze 2 óra 11 perc alatt kerül meg a pulzárt.

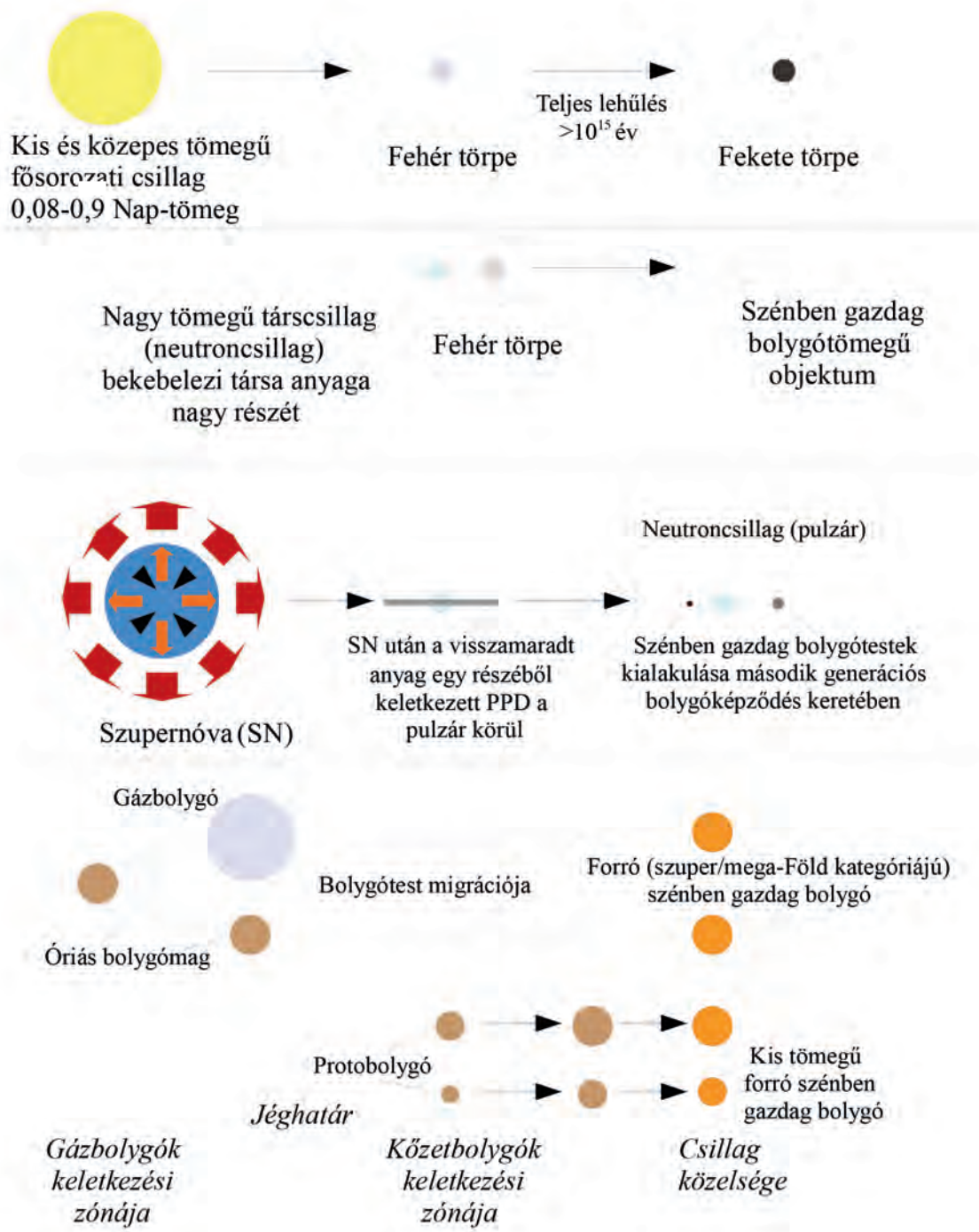
Noha nem bolygó, de az égitestek kémiáját tanulmányozva mindenképpen érdekes a Vízöntő csillagkép irányában, tőlünk 871 fényévre található PSR J2222-0137 jelű pulzár is, amely egy kettős rendszer egyik

tagja, a másik tag pedig egy 1,05 naptömegű halvány törpecsillag [8]. Ez utóbbihoz hasonló, túlnyomórészt szénből és oxigénből álló fehér törpék az elméleti előrejelzések szerint megfelelően hosszú idő elteltével oly mértékben kihűlnek, hogy belsejükben a szén kristályosodott formában lehet jelen, azaz gyémánttá alakul át. A kis és közepes tömegű csillagok fejlődésének végállapota egy ilyen hipotetikus objektumtípus, az úgynevezett fekete törpe. E bizarr égitestek legbelső zónájában az anyag valószínűleg degenerált formában lehet jelen, külső burkukban pedig a szén gyémánttá átalakult alakja lehet a domináns összetevő. Napjainkban egyetlen képviselőjét sem ismerjük, mivel egy fehér törpe teljes kihűlése, azaz fekete törpévé történő átalakulásának időtartama nagyságrendekkel meghaladja a Világegyetem életkorát.

### A kerámiabolygóktól a gyémántgyűrűs planétákig

A szén a fémek közül leggyakrabban a szilíciummal alkot vegyületet, amely a nyolcadik leggyakoribb elem az Univerzumban. Ennek alapján a szénbolygók populációjának jelentős hányada szilícium-karbidból épülhet fel. A karbidok a nem-oxid kerámiák jellegzetes képviselői, melyeket – főként a szilícium-karbidot – nagy keménység, valamint magas hőmérsékleten is nagy szilárdság jellemez. Az SiC után a leggyakoribbak közül további potenciális köpenyalkotó lehet az alumínium-karbid, valamint a titán-karbid is. A karbidos bolygók fémes magja a vas és egyéb fémek (elsősorban nikkel) mellett pedig nagy valószínűséggel tartalmaz különböző ásványi fázisokba rendeződő vas-karbidot is, mely a bolygótestek legbelső részében uralkodó fizikai viszonyok mellett a legáltalánosabb szénvegyület lehet. A nikkel a tizenharmadik helyen áll a kozmikus elemgyakorisági sorban, melynek karbidja a vas után az egyik legjellemzőbb komponens lehet a szénbolygók fémes magjában. Az ilyen bolygók kérge az SiC mellett a kémiai differenciálódásnak megfelelően kis sűrűségű grafitból is állhat, mely a szilícium-karbidhoz hasonlóan szintén nagy mennyiségben kondenzálódhat a szénben gazdag protoplanetáris korongokban. Elegendően vastag grafitréteg alatt magas nyomáson a grafit gyémánttá alakul át, amely akár vastag rétegben is jelen lehet a szénbolygók belsejében.

A szénbolygókban az említettek mellett egyéb más karbidok is lehetnek köpeny és kéregalkotók a bolygótestek kémiai környezetének függvényében. Az összetétel a szén alapú ásványok típusainak alapvető kompozícióját tekintve valószínűleg gyakran jelenik



1. ábra. Szénben gazdag bolygótetek, illetve bolygószerű objektumok kialakulásának plauzibilis forgatókönyvei

meg az Fe-Si-C rendszerben. Az ilyen típusú bolygók jellemzően vasban gazdag magot tartalmaznak, melyet szilikátokban vagy szilícium-karbidban gazdag köpeny ölel körül, kérgük legfelső rétegét pedig grafit is alkothatja [9]. Még nagyobb lehet a kémiai változosság az Fe-S-Si-C rendszerben, mely esetében a

szénbolygók fémes magjában (pontosabban annak adott differenciálódott öveiben) a kén gyakorisága jelentős lehet a többi könnyű elemhez képest [10].

Hakim Kaustubh és munkatársai egy vizsgálat eredményeinek közlésében arra mutatnak rá, hogy a szénben gazdag bolygóbelső viszonyai mellett a szilícium-karbid



meghatározott kémiai környezetben oxidálódik, melynek eredményeként kvarc, grafit és vas-szilicid (Fe-Si) olvadék keletkezik. Ilyen feltételek mellett a köpenyben SiC-hiány jelentkezik, az ilyen planéták magját pedig domináns hányadban Fe-Si ötvözet alkothatja [11]. E kompozíció kialakulásához egyebek mellett megfelelő mennyiségű oxigén jelenléte is szükséges, így a valóságban a szilikátokban, vas-szilicidben és kvarcban bővelkedő, ugyanakkor szénben is gazdag ásványi összetételű égitesteknek éppúgy létezniük kell a Világegyetemben, mint a karbidos bolygóknak. A szilárd felszíni szénbolygók között – az uralkodóan szilikátos összetételű bolygókhoz hasonlóan – minden bizonnyal léteznek nagy tömegű égitestek is, melyek populációjának egy része főként karbidos összetételű lehet. Ennek megfelelően a masszív szilikátos planéták mellett létezniük kell úgynevezett karbid szuper-Földeknek, illetve karbid mega-Földeknek is [12].

Egy szénben gazdag óriás bolygó nagy méretű, grafitos felszíni holdjának kérge alatt a holdbelső nyomásvizonyai mellett az elemi szén gyémánttá alakulhat át. Ha a hold valamilyen fizikai hatásra (ütközés, árapályerők) széttöredezik, az így keletkező fragmentumokból egy időszakos gyémántgyűrű alakulhat ki az anyabolygó körül [11]. Olyan eset is lehetséges, amikor egy PSR J1719-1438 b-hez hasonló, egykori csillagnak a korábbi fúzióban keletkezett szénből álló magja fragmentálódik a jóval nagyobb tömegű társ csillag árapályerői következtében. Anyaga átmenetileg szintén gyémántdarabok és szemcsék alkotta gyűrűt képez a központi objektum, neutroncsillag körül.

### Szénkémia, aktív geodinamika és az élet

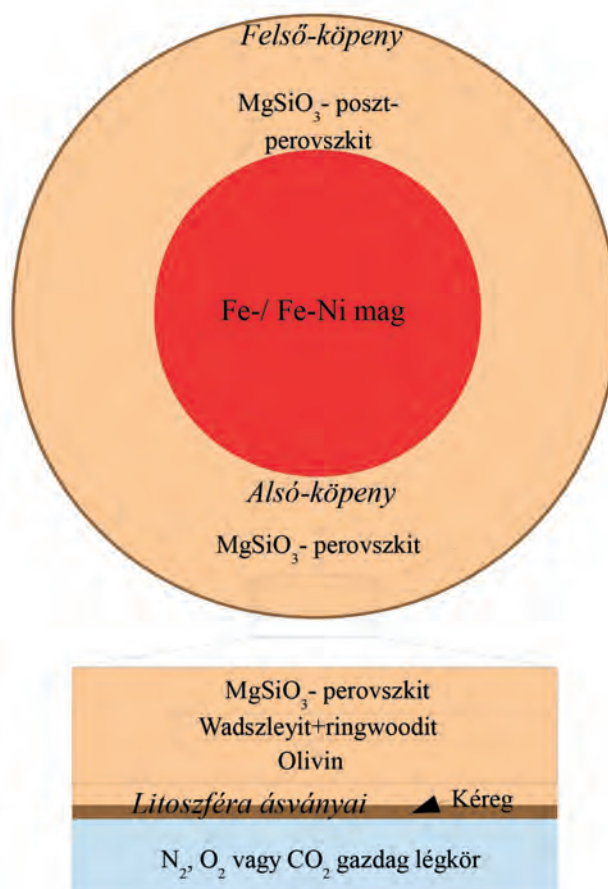
Bolygótudományi szempontból a szénben gazdag planetáris objektumok vizsgálata – például a gyémántbolygókat vagy az élet lehetőségeit tekintve – igazi kuriózumnak számíthat majd a jövőben. Mit mondhatunk el a szénplanéták nyújtotta lehetőségekről az élet kialakulásának vonatkozásában? A szén alapú élet kialakulása és fejlődése szempontjából az ilyen típusú bolygók felszíne akár alkalmasabb hely is lehet, mint az olyan szilikátos bolygóké mint a mi Földünk?

Egy érdekes tanulmány szerint az élet elsőként szénbolygókon születhetett meg a korai Világegyetemben [13]. A kis tömegű csillagok fémekben rendkívül szegény, szénben gazdag alosztályát képviselik az úgynevezett CEMP-csillagok (Carbon-Enhanced Metal-Poor stars). Fém tartalmuk százszor-ezerszer kisebb a Napénál, ami azt jelenti, hogy azelőtt keletkeztek még mielőtt a csillagközi tér feldúsult volna nehéz elemekkel. A kis tömegű CEMP-csillagok körüli szénbolygók detektálása és

vizsgálata bőséges információkkal szolgálhat nem csupán arról, hogyan kezdődött a bolygóképződés a korai Világegyetemben, de arról is, hogy vajon mikor jelenhetett meg az élet először az Ősrobbanás után.

„Jó okunk van feltételezni, hogy a földönkívüli élet szénelapú lesz, hasonlóan a földi élethez...” fogalmaz a cikk vezető szerzője, Natalie Mashian. Noha más alapú létformák létezése sem kizárt, azonban ha az élet általánosan előforduló jelenség, akkor bonyolultságot eredményező sajátosságai okán a szénelapú élet elterjedt lehet az Univerzumban. A szén alapú élet általunk ismert formájához folyékony vízre is szükség van. 1-nél magasabb C/O arány esetén a protoplanetáris korongokban a szén az oxigénnel főként szén-monoxidot képez, s mindössze kevés oxigén marad a vízjég képződéséhez. Ezekben a rendszerekben a kisbolygók, üstökösmagok vízben szegények lesznek, a sziklás bolygók pedig a felszíni óceánok hiánya miatt szárazak. Légkörüket az oxigénben gazdag gázok ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ) hiánya jellemzi. Ugyanakkor megvan a lehetősége, hogy a száraz, kevés vizet tartalmazó szénbolygókon éppúgy kialakulhat a szénelapú, de a földitől mégis oly

2. ábra. Földhöz hasonló összetételű szilikátos bolygó





3. ábra. Szénbolygó lehetséges összetétele

sok tekintetben különböző élet, abban az esetben, ha rendelkeznek az összes elégséges feltétellel. A jelentős mértékben grafitos felszínű szénbolygóknak például vékony légköre lehet és valószínűleg kevésbé alkalmasak az élet hordozására, mint azok a szénben szintén gazdag planéták, melyek felszínén már a szénen kívül elegendő mennyiségben megtalálhatók egyéb, az élet számára szükséges elemek is [9].

A vizsgálatok szerint Földünkön a lemeztectonika kedvezett a már kialakult élet továbbfejlődésének, a biológiai diverzitás fokozódásának. A lemeztectonikát az aktív geodinamika teszi lehetővé, mely bolygónk naprendszerbeli helyzete mellett, főként annak fizikai és kémiai tulajdonságainak köszönhető. A köpenyben működő hőkonvekció a tektonikus lemezek mozgásának hajtómotorja. A köpenyáramlásoknak nem csupán fizikai, de kémiai feltételei is vannak. A magasabb széntartalmú köpenyben, a szilikátokétól eltérőek lehetnek az egyes alkotó ásványok azon termodinamikai tulajdonságai, melyek

a konvekció teljesülését meghatározó Rayleigh-szám alakulása szempontjából fontosak. Így például a SiC-ből felépülő köpenyben meghatározott mélységben a konvekció akár erőteljesebb is lehet [14], mint az uralkodóan szilikátos ásványokból álló bolygótestek köpenyében. Ez a körülmény módosíthatja a felszíni geokémiát, és adott esetben akár még kedvezőbbé is teheti a szénbolygók által kínált feltételeket az élet fejlődése számára.

Jelenleg azonban még csekély a tudásunk az élet lehetőségéről, nem tudhatjuk biztosan, hogy az a földihez képest milyen formákat ölthet más bolygókon. Az arra alkalmas bolygókon a magasabb széntartalom önmagában még korántsem biztos, hogy minden esetben együtt jár a földihez hasonló komplex életformák kialakulásával, de adott körülmények között nagy valószínűséggel növelheti a szénalapú élet kifejlődésének esélyét.

FUTÓ PÉTER

## IRODALOM

- 1 Kuchner M. J., Seager S. (2005): Extrasolar Carbon Planets. ArXiv: astro-ph/0504214
- 2 Moriarty J. et al. (2014): Chemistry in an evolving protoplanetary disk: Effects on terrestrial planet composition. *Astrophysical Journal*. 787. 81.
- 3 Sen S. et al. (2013): Carbon substitution for oxygen in silicates in planetary interiors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 15904
- 4 Futó P. (2014): A new planet-class: carbon-silicate planets. *Lunar and Planetary Science Conference XLV*, 1046, Houston
- 5 Futó P. (2015): Újdonságok a kis tömegű exobolygók kutatása terén. *Űrtan Évkönyv 2014. MANT*, pp. 108-114.
- 6 Bailes M. et al. (2011): Transformation of a star into a planet in a millisecond pulsar binary. *Science*. 333. 1717-1720.
- 7 van Haaften, L. M. et al. (2013): Formation of the planet orbiting the millisecond pulsar J1719-1438. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 291, 133-136.
- 8 Kaplan D. L. et al. (2014): A 1.05 M companion to PSR 2222-0137: The coolest known white dwarf? *Astrophysical Journal*. 789. 119.
- 9 Hakim K. et al. (2018): Mineralogy, Structure and Habitability of Carbon-enriched Rocky Exoplanets: A Laboratory Approach. ArXiv:1807.02064.
- 10 Deng L. et al. (2013): Effect of carbon, sulfur and silicon on iron melting at high pressure: Implications for composition and evolution of the planetary terrestrial cores. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 114. 220-233.
- 11 Hakim K. et al. (2018): Capturing the oxidation of silicon carbide in rocky exoplanetary interiors. *Astronomy and Astrophysics*. 618. L6.
- 12 Futó P. (2019): Possible formation scenarios and mineralogical types of carbon-rich solid planets. *Lunar and Planetary Science Conference L*, 1307, Houston
- 13 Mashian M., Loeb A. (2016): CEMP stars: possible hosts to carbon planets in the early Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460, 2482-2491.
- 14 Nisr C. et al. (2017): Thermal expansion of SiC at high pressure temperature and implications for thermal convection in the deep interiors of carbide exoplanets. *Journal of Geophysical Research*. 122. 124-133.





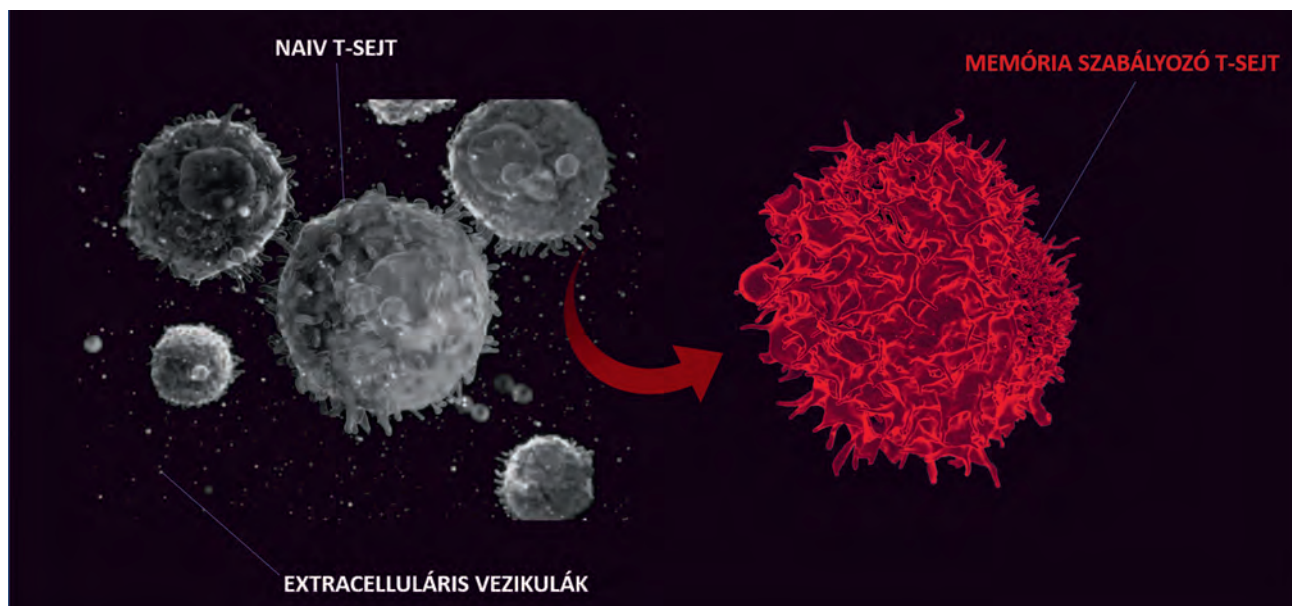
A SZABÁLYOZÓ T-SEJTEKET MEGHATÁROZÓ HSPE1, AZAZ A VÁRANDÓSSÁG SORSDÖNTŐ GÉNJE

## A terhesség titkos sorsának felderítése

Létezésünk előfeltétele a nemzedékek közötti folyamatosság biztosítása. A folyamatosság alappillére a sikeres várandósság, ám napjainkban az egyre növekvő tendenciát mutató meddőségi arányban Magyarország is csatlakozik a nyugati és északi fejlett államokhoz. Jelenleg a humán megtermékenyített petesejtek több mint feléből nem születik egészséges újszülött. Az anyaméhben fejlődő magzat félig apai eredetű, ennek értelmében az anyai immunrendszernek létfontosságú feladata felismerni a félidegen magzatot és toleranciát kialakítani a magzattal szemben. Az esetek túlnyomó részében az anyai immunrendszer részéről a magzat iránt nem alakul ki vagy megbomlik a toleranciaegyensúly, ez mind a magzat, mind az anya szempontjából súlyos következményekkel járhat.

A félidegen magzat egy egyedi elfogadást erősítő válaszlásra készíti az anyai immunrendszert. A terhesség a természet egyik legszebb és legösszetettebb jelensége, mely eredményeként új élet születik. A szinte tökéletes alkalmazkodást számos mechanizmus biztosítja. A várandós immunrendszerének egy olyan új egyensúlyi állapotot kell teremteni, ami sajátosan felismeri és tolerálja a magzati antigéneket, és ezzel párhuzamosan fenntartja a megfelelő, úgynevezett immunkészletlét állapotot, amely egy esetleges fertőzés

vagy kórokozó behatolásakor hatékony védekezést eredményez. Az evolúció során több mechanizmus is kialakult a magzat iránti tolerancia létrehozásához és fenntartásához. Az egyik legkiemelkedőbb mechanizmus a magzati specifitással rendelkező anyai szabályozó T-sejtek ( $T_{reg}$ ) kialakulása. Az anyai immunrendszer toleranciaegyensúlyának beállításáért elsősorban a  $T_{reg}$ -sejtek felelősek. Amennyiben az immuntolerancia nem bontakozik ki teljességében, már a beágyazódás vagy az azt követő első hetekben



1. ábra. Méhlepény (trophoblast) eredetű extracelluláris vezikula milió szerepet játszik a naiv T-sejtek szabályozó T-sejttekké való differenciációjában (átalakulásában)

a terhesség véget ér. Ha a kialakuló immuntolerancia egyensúlyi állapota felborul, az általában vetéléshez vezet. A  $T_{reg}$ -sejtek nem megfelelő működésbeli vagy számbeli negatív változásuk döntően meghatározza a terhesség kimenetelét: spontán, ismétlődő vetélést, koraszülést vagy preeklampsziát (terhességi magasvérnyomás és fehérjevizelés szindróma) okozva. A koraszülés hátterében leggyakrabban a preeklampszia áll. Preeklampsziában az anyai méhben lévő spirális erek átalakulása tökéletlenül zajlik, azaz a magas ellenállású, kis átmérővel rendelkező erek fala nem alakul át alacsony ellenállással és megnövekedett átmérővel jellemezhető spirálisér-szerkezetté. A preeklampsziás várandósságokból született magzatok születési súlya jelentősen alacsonyabb. A terhességi kornak megfelelő alacsony születési súly megnöveli a későbbi életkorban a 2-es típusú cukorbetegség, metabolikus szindróma és a kardiovaszkuláris kockázatot is. Továbbá az anyai oldalt vizsgálva a preeklampszia anyai erek endotél rétegének károsítása révén a hosszútávú anyai kardiovaszkuláris rizikót is igen megemelik. A folyamat molekuláris mechanizmusa még nem teljesen tisztázott, de feltételezhető, hogy a  $T_{reg}$ -sejtek kiemelkedő szerepet játszanak.

A karmesterként működő  $T_{reg}$ -sejtek a méhlepényben folyamatosan szabályozzák valamennyi anyai immunsejt működését. A szabályozás mechanizmusa sokrétű: a  $T_{reg}$ -sejtek felszínén gátló molekulákat találunk (pl. CTLA-4), amelyek fékezik a magzatra káros hatású immunsejtek aktiválódását (például természetes ölősejtek, B-sejtek). Továbbá a  $T_{reg}$ -sejtek olyan gátló molekulákat

bocsátanak ki a méhlepénybe, amelyek az immuntoleranciának, azaz elfogadó környezetnek kedveznek (pl. IL-10, IL-35, TGF- $\beta$ 1). Az anyai-magzati határfelületen lévő  $T_{reg}$ -sejtek a T-sejt túlélési faktort (IL-2) nagyobb érzékenységgel kötik meg, mintegy „megvonják” a többi T-sejttől, ezzel is kiváltják a magzatra káros hatású (pl. citotoxikus T-sejtek) sejtek számának jelentős csökkenését. A  $T_{reg}$ -sejtek közvetlenül is kapcsolatba lépnek más immunsejtekkel, meggátolva a végrehajtó T-sejtek működését a méhlepény szintjén.

Egyelőre nem tisztázott, hogy pontosan milyen molekuláris folyamatláncnak köszönhető a megváltozott immunműködést biztosító anyai  $T_{reg}$ -sejtek kialakulása, számuknak a fenntartása és altípusainak működésbeli jelentősége. Az eddigi tudományos kutatások eredményei arra utalnak, hogy a méhlepényben található naiv (ún. differenciálódásra alkalmas) T-sejtekből alakulnak ki. A méhlepényben a magzati eredetű trophoblast sejtek közvetlen kapcsolatban állnak az anyai véredényekkel és jellemzőjük, hogy interleukin 6 (IL-6) molekula termelése révén differenciáltatásra készítetik a méhlepényben lévő anyai nyugvó T-sejteket. Az, hogy milyen irányba differenciálódnak a T-sejtek számos tényezőtől függhet. Hipotézisünk alapján a magzati trophoblast sejtek által kibocsátott extracelluláris vezikulák (EV) felelősek a  $T_{reg}$ -sejt irányú differenciáció meghatározásában. A trophoblast sejtek nagy számban kibocsátanak az anyai keringésbe EV-eket, azaz sejtmembránnal körülvett hólyagokat, amelyek belsejükben (vagy a vezikula membránjában) szelektíven beválasztott fehérjéket



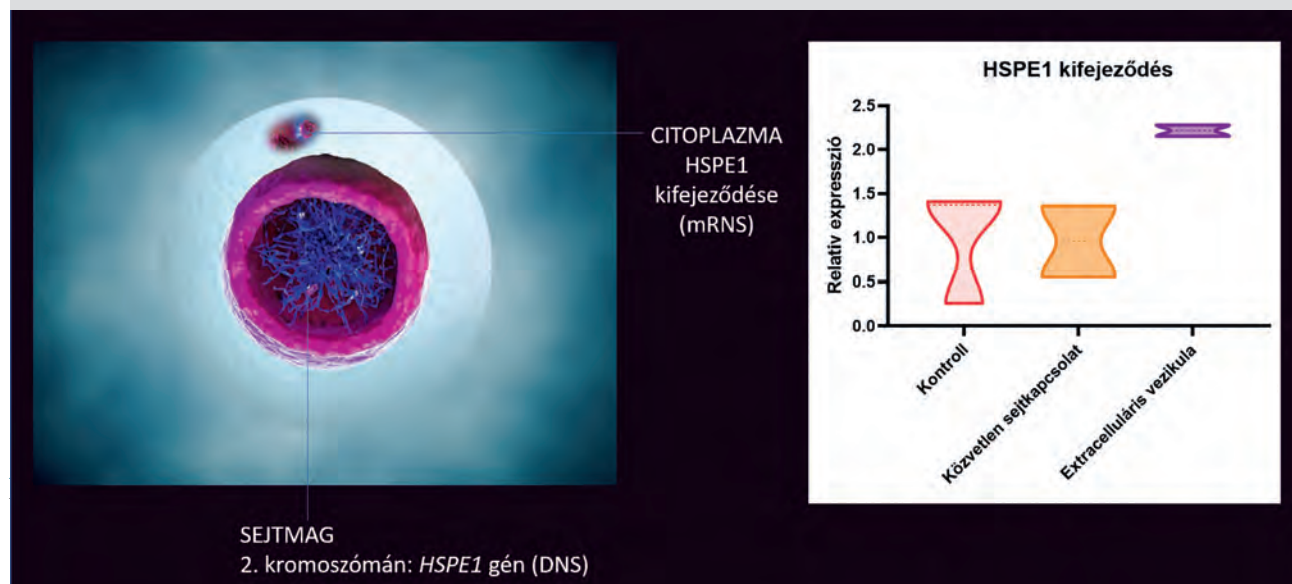
és nukleinsavakat tartalmaznak. A kibocsátott vezikulákat vizsgálva azt találtuk, hogy sajátos üzeneteket (HSPE1 fehérjét és IL-6 jelátviteli útvonalat meghatározó mikroRNS-eket) tartalmaznak a célsejtek számára, melyekkel befolyásolják a célsejtek jelátviteli útvonalait és génkifejeződési mintázatát. Új generációs szekvenálással feltártuk a trophoblast sejtvonalból származó vezikulák mikroRNS mintázatát. Bioinformatikai célgen és koexpressziós hálózatanalízisünk alátámasztja kísérletes rendszerünkben azonosított IL-6 receptorra hatnak, amelyben 21 IL-6 receptor expresszióra ható mikroRNS-t azonosítottunk a vezikuláris mintákban. Az azonosított mikroRNS-k a célsejtbe jutva, célzottan hozzákötődnek komplementaritás alapján az *IL6ST* és *ERAP1* génekről átíródott hírvívó RNS molekulákhoz, és meggátolják az IL-6 receptor fehérjévé átíródását. A trophoblast-eredetű vezikulák fő célsejtjeiként a T-sejteket és monocita sejteket azonosítottunk.

A Semmelweis Egyetem Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézetében végzett kutatásaink eredményei azt mutatják, hogy a trophoblast eredetű EV-k főként a sejten belüli IL-6 jelátviteli útvonal kulcselemeire hatnak. Az EV-k fehérjetartalmának vizsgálata során a  $T_{reg}$ -sejtek kialakulási útvonalában potenciálisan igen jelentős, kis méretű hősokk-fehérjét (HSPE1) azonosítottunk tömegspektrometriával. A fehérje jelenlétét áramlási citometriával is kimutattuk úgy a vezikulák belsejében, mint a vezikuláris felszínen. A HSPE1 fehérjét a HSPE1 gén kódolja, amely a 2. kromoszóma hosszú karján helyezkedik el. A fokozott HSPE1 génaktiválódás következményeként nagyobb mennyiségű HSPE1 hírvívó RNS termék képződik a sejtmagban, amely a citoplazmába jut. A citoplazmában az RNS molekula alapján fehérjévé íródik át. A sejten belül a fehérje fő szerepe más fehérjék megfelelő térbeli szerkezetének kialakításának segítése, főként sejt-stressz alatt. A HSPE1 evolúciósan igen konzervált fehérje, és a megtermékenyítést követő 6-48 órában kimutatható az anyai szervezetben.

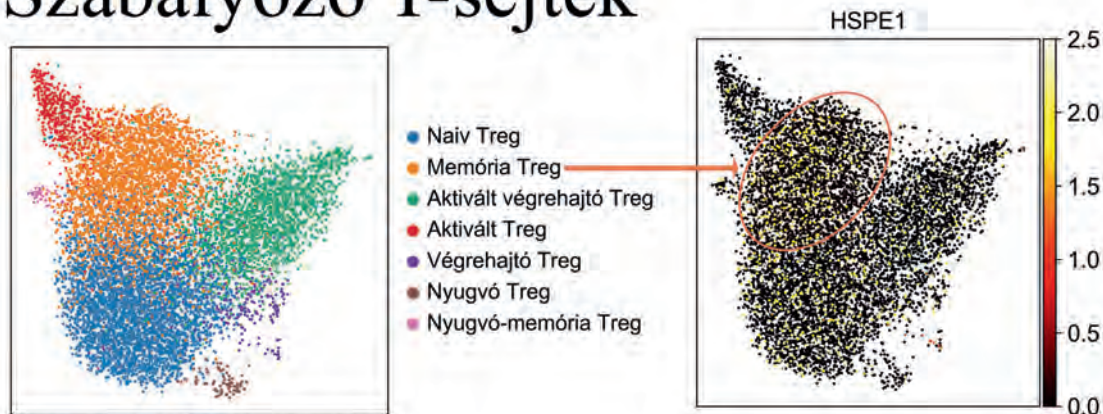
Ugyanakkor művi vetélést követően 6-24 óra elteltével a HSPE1 fehérje jelenléte már nem mutatható ki. A keringő HSPE1 szintje, tehát igen szoros összefüggést mutat a várandóssággal. Jelenlegi kutatásainkat HSPE1 fehérje és a várandósságra jellegzetes  $T_{reg}$ -sejtek száma és működése közötti összefüggés felderítésére fókuszáljuk. Trophoblast (BeWo) sejtvonalból a CRISPR-Cas9 molekuláris ollóval kikapcsoltuk a HSPE1 gént. A HSPE1 módosított BeWo sejtvonalból izolált EV-k hatását vizsgáljuk a T-sejtekre: hogyan változik a differenciálódásuk és a  $T_{reg}$ -sejt alcsoportok megoszlása. A kialakult  $T_{reg}$ -sejtek működését RNS szinten valós idejű PCR-rel, illetve a sejtek komplex mozgását (mekkora távot tesznek meg, milyen sebességgel és milyen irányítottsággal) holomikroszkóppal vizsgáljuk. A  $T_{reg}$ -sejtek altípusainak meghatározását és kiválasztását áramlási citométerrel és sejtszorterrel végezzük.

A HSPE1 gén kifejeződése a keringő fehérvérsejtekben IL-6 jelenlétében trophoblast sejtekkel való közvetlen kapcsolat esetén nem változik. Azonban, ha a trophoblast sejtek által kibocsátott EV-kel kezeljük a fehérvérsejteket a HSPE1 gén kifejeződése igen megemelkedik. A trophoblast-eredetű EV-k következtésképpen képesek a sejtmagban lévő HSPE1 gént aktiválni, amelynek eredményeként a HSPE1 fehérje szintje megnő. A folyamatot végigkövetve azt látjuk: HSPE1 fehérje kiinduló pontja lehet annak a molekuláris folyamatláncnak, amely elindítja és biológiai körként fenntartja a  $T_{reg}$ -sejtek számát és szerepet játszhat a működésileg igen jelentős memória  $T_{reg}$ -sejtek kialakulásában, tehát minden bizonnyal kulcsfontosságú az anya és a magzat közötti toleranciaegyensúly kialakításában. Továbbá kísérletes rendszerben kimutattuk, hogy az IL-6 jelenlétében a trophoblast eredetű EV-k szabályozó T-sejtek kialakulását váltják ki a keringő naiv T-sejtekből, tovább erősítve azt a feltételezést, hogy az anyai toleráns immunválasz kialakításában a magzati eredetű szabályozás kiemelkedően fontos.

2. ábra. Trophoblast eredetű extracelluláris vezikulák fokozzák a célsejtekben (naiv T-sejt) a HSPE1 expressziót



# Szabályozó T-sejtek



3. ábra. A szabályozó T-sejteken belül 7 alcsoport különíthető el, ezen belül a memória alcsoportban a legmagasabb a *HSPE1* kifejeződés

Jelenleg a HSPE1 fehérjét kódoló gén működését vizsgáljuk szabályozó és naiv T-sejtekben ún. egy-sejt transzkriptomikai módszerrel. A módszer újdonsága az, hogy minden vizsgálandó sejthez hozzárendelünk egy-egy egyedi azonosítót, így amikor a génkifejeződést elemezzük (RNS vagy fehérje szinten) minden egyes sejtben külön láthatjuk a kérdéses gén működését. Ez a módszer lehetővé teszi a szabályozó T-sejtek igen érzékeny osztályozását, működésbeli meghatározást és ennek következtében a funkcionális altípusok elkülönítését.

A memória  $T_{reg}$ -sejtek azonosítása és a HSPE1 fehérjével való kapcsolatvizsgálata azért is igen érdekes, mert a várandósságot követően a  $T_{reg}$ -sejtek száma lecsökken, de a memória-altípus megmarad, akár évtizedeken át. Egy esetleges következő várandósság kapcsán a memória  $T_{reg}$ -sejtek igen gyorsan aktiválódnak és hatékony toleráns mikro-környezet kialakulásnak kedveznek. Számos irodalmi adat áll rendelkezésünkre, amely alátámasztja, hogy az első várandósságot követő terhességekben (amennyiben az édesapa ugyanaz) az immuntoleranciával kapcsolatos terhesség-specifikus kórképek (pl. preeklampszia, koraszülés) előfordulása nagymértékben csökken. Ezen utóbbi megfigyelés megerősíti a memória  $T_{reg}$ -sejtek kérdésének kutatási létjogosultságát.

A preeklampszia korai diagnózisára a mai napig nincs megbízható módszer vagy marker, illetve specifikus kezelés sem áll rendelkezésünkre. A terhességi magas vérnyomásban érintett várandós nőknél a terhesség befejeztével a preeklampsziás tünetek elmúlnak, de a hosszú távú szívérrendszeri megbetegedések kockázata számottevően megnő úgy az édesanya, mint az újszülött számára. Már a terhesség első szakaszában a keringő memória  $T_{reg}$  sejtek részletesebb elemzése, HSPE1 sejten belüli szintjének mérése, vagy a keringő trophoblast eredetű vezikulák HSPE1 jelenléte korai

markerként szolgálhat a megfelelő vagy a megváltozott immuntolerancia egyensúly állapotáról. A terhességi immunfolyamatok egyre részletesebb megismerése biztosíthatja azt a szilárd kutatási alapot, amelyre gyógyszer-célpontok tervezhetők a jövőben a terhességspecifikus kórképek megelőzésére/kezelésére és a meddőség arányának javítására.

KOVÁCS ÁRPÁD FERENC

## IRODALOM

- Athanasias-Platsis, S., Somodevilla-Torres, M. J., Morton, H., & Cavanagh, A. C. (2004). Investigation of the immunocompetent cells that bind early pregnancy factor and preliminary studies of the early pregnancy factor target molecule. *Immunology & Cell Biology*, 82(4), 361–369. <https://doi.org/10.1111/j.0818-9641.2004.01260.x>
- Chen, Q., Zhu, X., Chen, R., Liu, J., Liu, P., Hu, A., ... Yuan, H. (2016). Early Pregnancy Factor Enhances the Generation and Function of CD4<sup>+</sup>CD25<sup>+</sup> Regulatory T Cells. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 240(3), 215–220. <https://doi.org/10.1620/tjem.240.215>
- Kovács, Á.F.; Fekete, N.; Turiák, L.; Ács, A.; Kóhidai, L.; Buzás, E.I.; Pállinger, É. Unravelling the Role of Trophoblastic-Derived Extracellular Vesicles in Regulatory T Cell Differentiation. *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 3457.
- Kovács, Á. F., Láng, O., Turiák, L., Ács, A., Kóhidai, L., Fekete, N., ... Pállinger, É. (2018). The impact of circulating preeclampsia-associated extracellular vesicles on the migratory activity and phenotype of THP-1 monocytic cells. *Scientific Reports*, 8(1), 5426. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23706-7>
- Li, M. O., & Rudensky, A. Y. (2016). T cell receptor signalling in the control of regulatory T cell differentiation and function. *Nature Reviews Immunology*. <https://doi.org/10.1038/nri.2016.26>
- Mathieu, M., Martin-Jaular, L., Lavieu, G., & Théry, C. (2019). Specificities of secretion and uptake of exosomes and other extracellular vesicles for cell-to-cell communication. *Nature Cell Biology*, 21(1), 9–17. <https://doi.org/10.1038/s41556-018-0250-9>
- Rosenblum, M. D., Way, S. S., & Abbas, A. K. (2016). Regulatory T cell memory. *Nature Reviews Immunology*, 16(2), 90–101. <https://doi.org/10.1038/nri.2015.1>
- Vento-Tormo, R., Efremova, M., Botting, R. A., Turco, M. Y., Vento-Tormo, M., Meyer, K. B., ... Teichmann, S. A. (2018). Single-cell reconstruction of the early maternal–fetal interface in humans. *Nature*, 563(7731), 347–353. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0698-6>
- Zemmour, D., Zilionis, R., Kiner, E., Klein, A. M., Mathis, D., & Benoist, C. (2018). Single-cell gene expression reveals a landscape of regulatory T cell phenotypes shaped by the TCR. *Nature Immunology*, 19(3), 291–301. <https://doi.org/10.1038/s41590-018-0051-0>



# Pillanatfelvétel a Modern városok programjának startjánál

Az EU területi politikájában az új perspektívát már nem a régiók, hanem a nagyvárosok jelentik, amelyekről azt várják, hogy újszerű működésükkel eredményes, dinamikus és fenntartható fejlődést lehessen elérni mindazon térségekben, ahol kisugárzásuk még érzékelhető. Mindezek miatt fontos szempont, hogy a világvárosi funkciókkal is rendelkező fővárosunk árnyékában hogyan alakul nagyvárosaink népessége, gazdasági ereje, kulturális, tudományos vonzása, a köztük folyó versenyben melyek emelkedtek ki, illetve mutatnak némi lemaradást. E tanulmány a mintegy egymillió embernek lakhelyet adó nyolc nagyvárosunk közelmúltbeli fejlődésével és jelen helyzetével foglalkozik. Megállapítható, hogy nagyvárosaink gazdasági erejét leginkább az exportárbevétel és a feldolgozóipar árbevételének aránya határozza meg. A fejlettségi sor elején Győr és Székesfehérvár helyezkedik el, míg a sor végén Szeged és Pécs.

Az 1996. évi területfejlesztési törvény szerint az ország minden térségében biztosítani kell a szociális piacgazdaság kiépítését, a fenntartható fejlődés feltételeit, az innovációk térbeli terjedését, a főváros és a vidék közötti különbségek mérséklését, a térszerkezet harmonikus fejlődését, a térségi identitás megtartását és erősítését. E törvény 1999. évi módosításának egyik célja a regionális szint erősítése (így hét tervezési-statisztikai régiót határoltak le), a másik a törvényességi ellenőrzés érvényesítése és a területfejlesztés szereplőinek átalakítása volt. A területfejlesztésben kiemelt szerep jutott a városhálózat magját alkotó regionális központoknak (Debrecen, Győr, Pécs, Miskolc, Szeged), melyek jelentős népesség- és gazdasági koncentrációval rendelkeznek, intézményeik hatóköre több megyére, esetleg országhatáron túlra is kiterjednek. E kör kiegészül a regionális szerepkörökkel nem vagy mérsékelten rendelkező, de népességszámban és funkciókban is kiemelkedő további nagyvárosokkal (Kecskemét, Nyíregyháza, Székesfehérvár). A hazai szakirodalom





1. ábra. A Debreceni Egyetem főépülete

regionális és hiányos szerepkörű regionális központokat különböztet meg [1]. Érdekességként említjük meg, hogy 2007-től néhány évig Kecskemét volt a székhelye a Magyar Államkincstár, az Országos Munkavédelmi és Munkaügyi Főfelügyelőség és a Nemzeti Közlekedési Hatóság Regionális Igazgatóságának, Nyíregyházán volt a központja az APEH, a Munkaügyi Központ és a Nemzeti Közlekedési Hatóság Regionális Igazgatóságának, Székesfehérváron pedig az APEH és a Munkaügyi Központ Regionális Igazgatósága székel [5]. 2014-ben olyan elképzelések is megfogalmazódtak, hogy a Földművelésügyi Minisztérium Debrecenbe, a vidékfejlesztés Kecskemétre, a Honvédelmi Minisztérium pedig Székesfehérvárra költözzön el. Végül csak az Agrár- és Vidékfejlesztési Államtitkárság tette át székhelyét Kecskemétre 2015-ben.

Rechnitzer János megállapítása szerint az elmúlt évtizedek során a városhálózatban, annak csomópontjaiban, a nagyvárosokban differenciált fejlődés zajlott, amelynek következtében egyes centrumok érdemlegesen megerősödtek, míg mások helyzete romlott vagy éppen stagnált. A 2007-2013-as időszakban az európai uniós források megítélt támogatási összege lakosságárányosan Szegeden és Nyíregyházán volt kiemelkedő, de Miskolc, Pécs és Debrecen is átlag fölötti

támogatásban részesült. E forrásból legkevesebbet Győr (kicsivel többet Székesfehérvár és Kecskemét) profitált. A területi szintű decentralizáció nem alakult ki, bár a centralizált közigazgatás, a nemzeti fejlesztés, a különféle állami funkciók erős központosítása miatt a nagyvárosi kör számos térségi szervező funkciót alakított ki, ám ezek nem voltak képesek a főváros túlsúlyát ellenpontosítani [5].

Az Európai Unió kohéziós politikája már nem tesz említést a területi különbségek csökkentéséről, a területi felzárkóztatás szándékáról, mert a figyelem áttérrelődött más, fontosabbá vált közösségi kérdésekre (pl. versenyképesség, környezetvédelem, demográfiai krízis stb.). A területi szemlélet nem tűnt el, de alaposan átrendeződött. Az új perspektívát már nem a régiók, hanem a városok és azok szűkebb-tágabb környezete jelenti [4]. A nagyvárosoktól várják, hogy újszerű működtetésükkel eredményes, dinamikus és fenntartható fejlődést lehessen elérni azokban a térségekben, ahol kisugárzásuk még érzékelhető. A városokra és térségükre épülő fejlesztéspolitika új gondolkodást igényel az élet minden területén. A helyi adottságok, erőforrások, kezdeményezések alapos feltárása és mozgásba hozása a siker kulcsa. Mindezek mellett még ma is a külföldi tőke, a multinacionális vállalatok határozzák meg nagyvárosaink gazdasági erejét.

Trianon egyik fájdalmas következménye, hogy kihullottak településhálózatunkból azok a nagyvárosok (Pozsony, Kolozsvár, Temesvár), amelyek ha nem



is voltak egy súlycsoportban Budapesttel, de szerepük óriási volt egy-egy országrészben, hogy Kassáról, Nagyváradról, Aradról, Szabadkáról már ne is beszéljünk. Ma Budapest népességének alig több mint tizedét teszi ki Debrecen, de gazdasági ereje csak kb. öt százaléka a fővárosinak. Ebben Győr teljesít legjobban (7%) a 100 ezer főt meghaladó nyolc városban (Debrecen, Miskolc, Szeged, Pécs, Győr, Nyíregyháza, Kecskemét és Székesfehérvár – utóbbi e népességhatárt alulról súrolja). Molnár Ernő és munkatársai dolgozatukban összehasonlították a nyolc város gazdasági erejét és annak ezredfordulótól mért változásait [3]. A regisztrált vállalkozások számából, a helyi adóbevételekből és az adóköteles jövedelmekből (figyelembe véve a megyei GDP szintjét) városi GDP becsléseket végeztek, melyek igen érdekes egy lakosra jutó értékeket mutatnak.

A 2015. évi értékek Győrben megközelítették a budapestit, Székesfehérvár annyi volt lemaradva Győrtől, mint tőle Kecskemét. A középső helyek jutottak Északkelet-Magyarország három nagyvárosának (Debrecennek, Nyíregyházának és Miskolcnak), míg a két utolsó helyre Szeged és Pécs szorult.

A kutatók szerint alapvetően az exportárbevétel aránya differenciálja a nagyvárosi gazdaságokat. Győrben és Székesfehérváron folyamatos a 70 százalék körüli arány, ami a Mercedes-gyár 2012-től induló termelésével Kecskemétet is erre a szintre vitte fel. Nyíregyháza, Miskolc és Debrecen export aránya 30-40 százalék közötti, míg Szeged és Pécs az átlagtól messze elmaradó 15 százalékos értékeivel gyenge külpiaci integráltságot mutat.

Nagy szóródást jeleznek a legalább 500 főt foglalkoztató helyi székhelyű vállalkozások adatai is. A szerzők számításai szerint a cégek számában (6-16 közötti) két-háromszoros, a foglalkoztatottak létszámában négyszeres, árbevételében pedig húszszoros különbség mutatkozott e vállalatok körében a listavezető Győr és a sereghajtó Pécs között. Szeged és Pécs gyenge rangsorbeli helyezésének egyik oka a feldolgozóipar árbevételének alacsony szintjével (50, illetve 35%) magyarázható, ami több városban eléri a kétharmados-kilenczedes

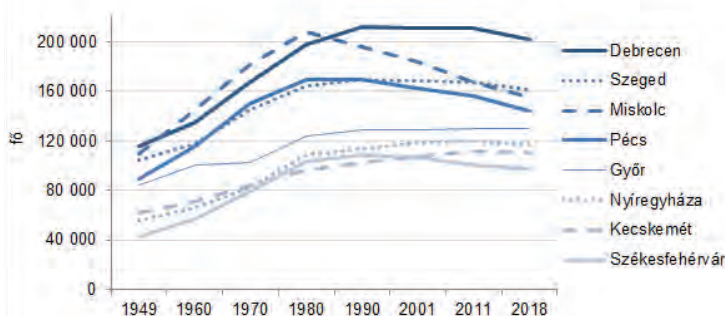
értéket. Szegeden és Pécsen az egyetem (8500, illetve 7500 alkalmazásban állóval) több embert foglalkoztat, mint a helyi székhelyű nagyvállalatok összesen. Mindkét város nyögi a '90-es évek gazdasági átalakulásának terheit. Ebben az időszakban a megyeszékhelyek közül csak Szombathely és Veszprém tudta megtartani foglalkoztatottjait, Szegeden jóval 40 százalék fölötti volt a leépítés aránya, aminél nagyobb arányú veszteség a megyeszékhelyek körében csak Salgótarjánban, Kaposváron, Pécsen és Miskolcon következett be. A rendszerváltás óta világcégek sora települt az országba, de egyik sem választotta e két európai hírű egyetemi nagyvárost. Számos más megyeszékhely nagyobb vonzást gyakorolt, eredményesen lobbizott és tett vonzó ajánlatokat a befektetőknek.

E nyolc nagyvárosból Győr úgy elviharzott a mezőnytől, hogy utolérése csaknem lehetetlen. A rangsorban második Székesfehérvár stabilan tarja helyét, de Kecskemét felzárkózhat hozzá. A negyedik hely Debrecené, mely város olyan fejlesztések előtt áll (BMW, Continental, a csapágyakat gyártó FAG, Richter Geodeon, az élelmiszeripari gépeket és berendezéseket gyártó Krones, Alföldi Tej), amivel messze elhúzhat az öt követő Nyíregyházától, Miskolctól, Pécstől és Szegedtől. Debrecen újraiparosítása első példája annak, hogy Budapest 200 km-es körén kívül is lehet magyar nagyvárost felvirágoztatni. Nyíregyháza és Miskolc egy cipőben jár, de az esélyek talán az előbbiben jobbak (Miskolcon a rendszerváltás óta 45 ezer fővel kevesebben élnek, míg Nyíregyháza tartja akkori népességszámát). A két egyetemi város, Szeged és Pécs (utóbbi 2010-ben Európa kulturális fővárosa volt) előtt pedig nincs más út, mint gazdaságának, vonzerejének gyökeres megújítása [2].

A **3. ábrából** jól látszik, hogy e nyolc város népességfejlődése 1980-ig töretlen, azt követően minden város egyéni pályát futott be. Miskolc már 1980-ban elérte népességmaximumát (208 ezer fő), Szegednél és Pécsnél ez 1990-ben következett be egyaránt 170 ezer fővel (Pécs 163 lakóval többet tudhatott magáénak). Debrecenben (211 ezer fő), Nyíregyházán (120 ezer fő)

2. ábra. Az Audi győri gyárának légifelvétele



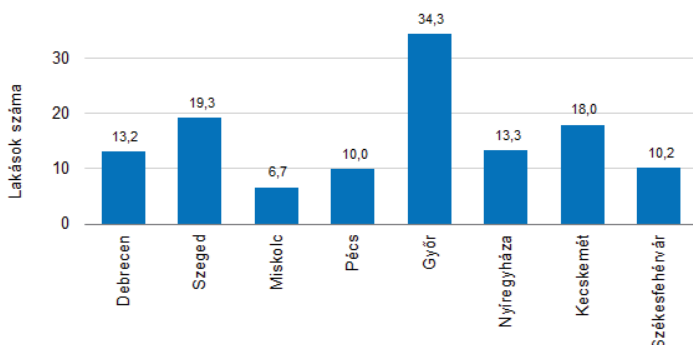


3. ábra. A nagyvárosok népességfejlődése (1949–2018)

és Kecskeméten (111 ezer fő) egyaránt 2011-ben éltek a legtöbben. Győrben soha nem laktak annyian, mint most (130 ezer fő), de a népességnövekedés a 2011. évi népszámláláshoz képest alig több, mint 500 fő.

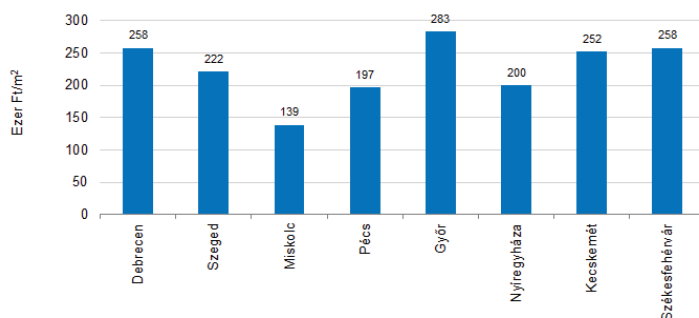
A lakásépítés lakóhelyválasztást is jelent a lakást építők és megvásárlók számára (4. ábra). Közismert, hogy Magyarországon a saját tulajdonú lakások aránya (92 százalék) a legmagasabbak közé tartozik Európában, ami jelentősen korlátozza a költözéseket, az új lakóhely megválasztását, a területi mobilitást. Egy korábbi kutatás szerint hazánkban egy lakos élete folyamán háromszor, egy nyugat-európai hatszor, egy egyesült államokbeli 12-szer költözik. Ebben sok tényező játszik szerepet (pl. egy szabolcsi, vagy borsodi háromszobás lakás árából még egyszobásat sem mindig lehet venni Győr-Moson-Sopron megyében vagy a fővárosi agglomerációban), de a helyi kötődés, a lokálpatriotizmus Magyarországon az elmúlt időszakig igen erős volt. A belső vándorlási adatok azt mutatják, hogy a kelet-nyugati lejtő erősen tartja magát, sőt erősödik. Az ország népességi súlypontja egyre nyugatabbra kerül, mivel a keleti, északi és déli megyékből sokan a fővárosi agglomerációba és az észak-dunántúli megyékbe

4. ábra. Az ezer lakosra jutó épített lakások száma (2010–2018)



(Győr-Moson-Sopron, Vas, Veszprém, Komárom-Esztergom) költöznek. E mozgást a magasabb bérek, a jobb infrastruktúra és az osztrák határ közelsége motiválja. A lakásépítést leginkább a lakhatás megoldása ösztönzi, de ma már sokan megtehetik, hogy megtakarításukat értéktárolásuk megtartása érdekében új építésű lakásokba fektessék.

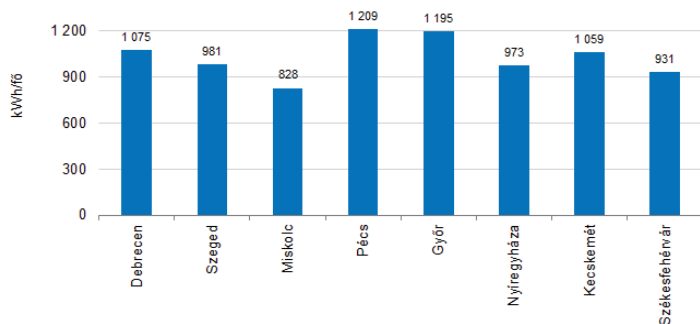
A nyolc nagyváros ezer lakosra jutó épített lakásainak száma 2010 és 2018 közötti időszakban jelentős szóródást mutat. Nem meglepő, hogy a listát Győr vezeti (34,3 lakás), míg a sorban utolsó Miskolc megfelelő adata (6,7) ötször kisebb az előbbinél. A mélypontot a 2014–2016 közötti évek jelentik, amikor rendre mindössze 52, 40, 36 lakást építettek a borsodi megyeszékhelyen. Pécs lakásépítésének intenzitása (10,0) is sokat elárul az ott élők és az oda letelepedni szándékozók városuk iránti bizalmáról és anyagi lehetőségeiről. Székesfehérvár igen mérsékelt adatára (10,2) az elmúlt időszakban tapasztalt népességcsökkenése adhat magyarázatot.

5. ábra. Lakáseladási átlagár, ezer Ft/m<sup>2</sup> (2017)

A lakásárak a legjobb kifejezői egy-egy település életképességének (5. ábra). Budapest egy négyzetméternyi lakásárából sok faluban egy családi házat lehet vásárolni. Miskolcon éppen fele annyi összegből (139 ezer Ft) lehet egy négyzetméternyi lakáshoz jutni, mint a legdrágább Győrben (283 ezer Ft). Debrecenben és Székesfehérváron egyaránt 258 ezer, Kecskeméten 252 ezer forintért cserélt gazdát az eladott lakások egy négyzetmétere.

A háztartási villamosenergia-fogyasztás az egyik legjobb mutatója az egyes településeken élők életkörülményeinek, életszínvonalának, mert összefüggésben van a lakásmérettel, felszereltséggel, a háztartási gépekkel való ellátottsággal, az ott élők életminőségével. A 2017. évi adatok szerint (6. ábra) a rangsorban utolsó Miskolc egy főre jutó (828 kWh) fogyasztása nem meglepő, de Székesfehérváré (931 kWh) jelen sorok írójának várakozásától elmaradó mértékű. Az egy főre jutó háztartási villamosenergia-fogyasztást Pécs



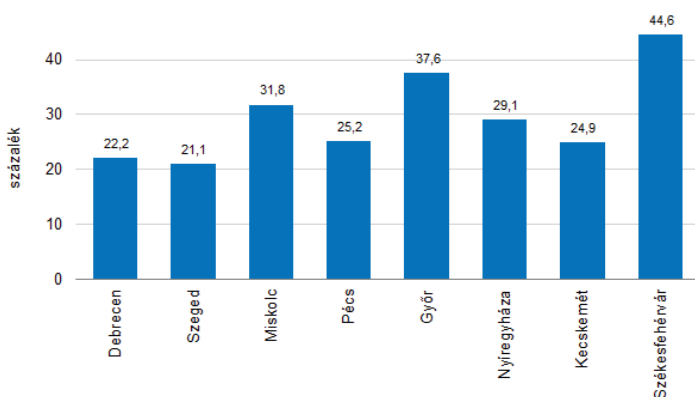


6. ábra. A háztartások részére szolgáltatott villamosenergia egy főre jutó mennyisége, kWh (2017)

(1209) és Győr (1195) vezet. Miskolcon arányosan alig több, mint kétharmadát fogyasztották villamosenergiából, mint Pécsen és Győrben. A nagyobb különbségek kialakulásában annak is szerepe lehet, hogy az utóbbi években az energiatakarékos eszközök (izzók, háztartási gépek) vásárlása is fellendült. A mintegy másfél évtizede egyre gyarapodó számú klímaberendezések is jelentős áramfogyasztókká váltak. Olyannyira, hogy ma már a villamosenergia-rendszernek a legnagyobb terhelést a hőszénapok jelentik. A lakossági fogyasztást a háztartás-összetétel is befolyásolja, ahol magas a fiatal és középkorú egyedül élők aránya, ott az egy főre jutó fogyasztás is nagyobb lehet.

A városok térben elfoglalt helyét, környezetükre ható vonzását jól mutatja a bejárók aránya (7. ábra). A 2011. évi népszámlálás szerint arányaiban a legtöbb bejárója Székesfehérvárnak (44,6 %), míg a legkisebb mértékű Szegednek (21,1%) és Debrecennek (22,2%) volt. Győr (37,6%) és Miskolc (31,8%) magas aránya nemcsak a munkahelyek széles választékának köszönhető, hanem a nagyvárosok környezetében kialakult településhálózatnak is. A két alföldi nagyváros nagyfalvas, egymástól távol eső településekkel van körbevve, míg a sok bejárót magukénak tudók sűrű, kisfalvas települések közepén fekszenek. Szegeden az országhatár is korlátozza a déli irányból bejárókat.

7. ábra. Bejáró a helyben dolgozó százalékában (2011)



Összegzőként megállapítható, hogy az elmúlt évtizedek területfejlesztésének fő célja, a területi egyenlőtlenségek mérséklése nem valósult meg, mert sem a hazai, sem az európai uniós források nem voltak elegendőek ahhoz, hogy a nivellációs folyamatok megerősödjének. A társadalmi és gazdasági élet feltételei ugyan minden régióban adottak és minden nagytérség, megye fejlődése tetten érhető, de a kelet-nyugati lejtő úgy vált fokozatosan meredekebbé, hogy a fő különbségek a megyéken belül erősödtek fel. Ez utóbbinak meghatározó oka az, hogy a nyolc nagyváros és a többi megyeszékhely és környezete (agglomerációja) gyors fejlődésnek indult. Nagyvárosaink a rendszerváltás utáni időszak nyerte-sei, míg falvaink többsége vesztesnek tekinthető. Győr, Székesfehérvár és Kecskemét ipari funkciói a legerősebbek. A három északkelet-magyarországi nagyváros (Debrecen, Miskolc és Nyíregyháza) egyetlen területe az országnak, ahol 50 km-es sugarú körben majdnem félmillió nagyvárosi lakos él. E városok széles spektrumú funkciók (gazdasági, kutatás-fejlesztési, felsőoktatási, turisztikai) megerősítésében látják jövőjüket. Szeged és Pécs Európa hírű felsőoktatási központok, melyek nemzetközi tudományos, kulturális és turisztikai vonzerővel rendelkeznek. A felsőoktatás az egyik legfontosabb területfejlesztő erő, aminek szép példája a sarkkörhöz közeli svédországi Umeå és a finnországi Oulu egyetemeinek, kutatóintézeteinek fejlesztése. A tudományos parkok kiépítésével megszűnt az elvándorlás, sőt jelentős bevándorlási folyamat indult meg. Talán túlzó, de nagy büszkeséggel vallják, hogy Európa szíve már nem Münchenben, hanem Ouluban dobog. A közeli évek Modern városok programjának eredményes végrehajtása nagyvárosainkat és környezetük fejlődését sokszerűen előre lendíthetik, amivel remélhetőleg a városoktól távolabb élők is javíthatnak majd életkörülményeiken, életszínvonalukon és életmódjukon.

HAJNAL BÉLA

#### IRODALOM

- [1] Csomós György (2009): A regionális központok szerepének változása Magyarország városhálózatában a szabad királyi városoktól a NUTS régióközpontokig. — Tér és Társadalom 2. sz. 79-112. o.
- [2] Hajnal Béla (2019): Nyíregyháza nagyvárosi tükörben. — Kelet-Magyarország február 27.
- [3] Molnár Ernő et al (2018): Vidéki nagyvárosaink összehasonlító elemzése. — Területi Statisztika 6. sz. 610-637. o.
- [4] Rechnitzer János (2016): A jövő terei, a tér jövője. — Magyar Tudomány 8. sz. 922-936. o.
- [5] Rechnitzer János (2019): Nagyvárosok a magyar területi politikában és területfejlesztésben a rendszerváltozástól napjainkig. — Tér és Társadalom 1. sz. 3-26. o.

HOGYAN HATHATNAK ELVÁRÁSAINK  
A FÁJDALOMÉSZLELÉSRE?

# Biztosan fájni fog!

Mindannyian hallottuk már valakitől vagy mondtuk magunknak a címben idézett kijelentést, útban a fogorvoshoz, egy törött láb gipszelése előtt vagy csak hallgatva egy fronthatásról szóló előrejelzést. Az a képességünk, hogy anticipálni – előre látni vagy „bejósolni” – tudunk bizonyos eseményeket, alapvetően a környezetünkhöz való alkalmazkodási folyamat részének tekinthető. De kérdés, hogy a múltbeli tapasztalatainkon alapuló vagy akár másoktól származó fájdalomra vonatkozó elvárásaink milyen módon befolyásolják a tényleges fájdalom észlelését.

Az elvárások egy adott környezetben megjelenő inger vagy esemény valószínűségére vonatkozó „tudásunkat” jelenti. Elvárásaink pedig sokfélék lehetnek, a viszonylag egyszerűektől a bonyolultakig. Gondoljunk csak a kocsiban ülve egy sárga jelzésre a kereszteződésben! Ekkor tudjuk – ez az elvárásunk – hogy a következő jelzés a piros lesz, ezért elkezdünk fékezni az autóval. De ennél komplexebb elvárásokat is megfogalmazunk a jövőbeli történésekről. Egy munkahelyi megbeszélésen eredményeink bemutatásakor például előre várhatjuk (anticipálhatjuk), hogy a munkatársak majd pozitív visszajelzéseket adnak. Vagy a fogorvos felé sétálva azt gondolhatjuk, hogy a gyökerkezelés iszonyatosan fájdalmas lesz. Ezek az elvárások saját tapasztalaton is alapulhatnak, ha már többször vettünk részt megbeszélésen vagy átestünk ilyen fogászati beavatkozáson, de akár mások elmondása alapján is előre elképzelhetjük ezeket az eseményeket, és kialakíthatunk a „végeredményre” vonatkozóan elvárásokat.

A környezetben megjelenő ingerekre vagy a viselkedés következményeire vonatkozó elvárások nemcsak az emberi viselkedés részjelenségei. Gondoljunk csak a klasszikus kondicionálás vagy az úgynevezett „operáns kondicionálás” jelenségét leíró vizsgálatokra.

A klasszikus kondicionálás jelenségét Ivan Petrovics Pavlov írta le és vizsgálta szisztematikusan főként kutyákon. Az állatok mielőtt ételt kaptak volna, csengőszót hallottak. A csengőszó-étel többszöri társítását követően a kutya már a csengőszó hallatán nyáladzani kezdett, azaz a nyáltermelése már azelőtt beindult, mielőtt az étel a szájába került volna. A csengőszónak,



W. H. H. del.

Published Jan. 27, 1899, by

The Compliment





amely a társításokat megelőzően semleges inger volt, lett egy előrejelző (prediktív) értéke/jelentése, ami tulajdonképpen azt jelenti, hogy csengőszót követő feltétlen inger, azaz az étel megjelenésére vonatkozóan kialakult egy elvárás a kutyákban.

Az operáns kondicionálás esetében a viselkedés következményére vonatkozóan alakítunk ki elvárást az alapján, hogy mit tapasztalunk a viselkedést követően: „jutalmat vagy éppen büntetést”. Ezt a tanulási formát behatóan vizsgálta például Burrhus Frederic Skinner kísérleteiben. Olyan dobozokba helyezett patkányokat, ahol egy pedál lenyomásával az állatok ételhez juthattak. A patkány a dobozban mászkálva értelemszerűen először véletlenül nyomta le a pedált, de ételt kapott érte. Az állatok idővel megtanulták összekapcsolni a pedál lenyomását az ennivalóval és már nem véletlenül, hanem célirányosan tapostak rá az ételt adó gombra.

### A fájdalommal kapcsolatos elvárások vizsgálata

A fájdalom megjelenésére, kialakulására vonatkozó elvárások vizsgálatára is gyakran bevett módszer a klaszikus kondicionálási paradigma alkalmazása. Ekkor magát a fájdalmas ingerlést megelőzi egy általában semleges inger, amely előre jelzi a fájdalmas inger megjelenését. A jelzőinger (ami eredetileg semleges) és az azt követő fájdalmas inger társítása során megtanuljuk, hogy a jelzőingernek mekkora a prediktív értéke, azaz milyen valószínűséggel jelzi előre a fájdalmas inger megjelenését. Képzeliük el a következő vizsgálati helyzetet! Kétféle jelzőingerünk van: az egyiket – legyen az, mondjuk, egy háromszög – mindig egy olyan inger követ, amit kellemesen melegnek érzünk. A másikat – legyen az egy négyzet – pedig mindig egy olyan, amit már kellemetlennek, és kifejezetten fájdalmasnak (égetőnek) értékelünk. Nézzük meg, mi történik akkor, ha trükkösen egy harmadik ingert is alkalmazunk, ami már erősebb, mint a kellemesen melegnek észlelt, de nem éri el a kifejezetten fájdalmas inger intenzitását. Az az érdekes eredmény adódik, hogy ennek a harmadik – tulajdonképpen köztes inger – intenzitásának észlelése attól függ, hogy milyen jelzőingert teszünk elé. Ha azt, amely a fájdalmasat jelzi előre (jelen példánkban a négyszöget), akkor nagyobb erősségűnek fogjuk észlelni, mint ha a közepes ingerünket az a jelzőinger előzi meg (jelen példánkban a háromszög), amely a nem fájdalmas ingert jelzi előre. Tehát ugyanannak az intenzitású ingernek az észlelését az határozta meg, hogy milyen jelzőinger előzte meg (1. ábra). Ez arra mutat rá, hogy az előzetes elvárásaink befolyásol-



JELZŐINGER

FÁJDALOMINGER

FÁJDALOMÉSZLELÉS



NEM FÁJDALMAS

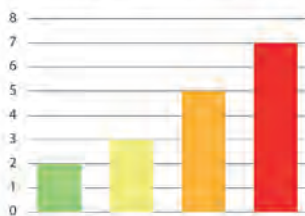
KÖZEPESEN FÁJDALMAS

KÖZEPESEN FÁJDALMAS

FÁJDALMAS



ÉSZLELT FÁJDALOM (0-10)



1. ábra. Az elvárások hatása a fájdalomészlelésre. Ha a jelzőingereket a nem fájdalmas és fájdalmas ingerhez társítjuk, akkor ezt követően a köztes, azaz a közepesen fájdalmas inger szubjektív megítélése attól függ, hogy milyen jelzőinger előzi meg. Ha a háromszög, akkor kisebb intenzitásúnak éljük meg (l. citromsárga oszlop), mint ha a négyzet előzi meg (l. narancssárga oszlop), holott a tényleges intenzitásában nincs különbség.

ják az észlelésünket. Hogyan lehetséges ez? Az agyunk a megtanult információk alapján felkészül az inger észlelésére, és nemcsak a perifériáról (pl. a bőrfelszínről) származó jelzéseket használja fel az észlelés kialakításában, hanem az előzetes ismereteinket, elvárásainkat is.

A fájdalom vizsgálata az operáns kondicionálás folyamatával is összeköthető. A fájdalmat ugyanis általában kellemetlennek éljük meg, és szeretnénk elkerülni, amennyiben lehetséges. Képzeljük el, hogy egy sérülést követően a mozgással együtt járó fájdalom (mint negatív megerősítés) arra ösztönöz minket, hogy bizonyos mozgásformákat elkerüljünk. Ebben az esetben a fájdalom megjelenését a saját viselkedésünk – például lépcsőzés – következményeként éljük meg és várjuk előre, és mivel szeretnénk elkerülni a fájdalmat, csökkentjük azoknak a viselkedéseknek az előfordulását, amelyről azt gondoljuk, hogy a fájdalom megjelenéséhez vezethetnek (2. ábra).

Ennek a folyamatnak különösen nagy a jelentősége azokban a betegségekben, ahol a fájdalom többé-kevésbé állandóan vagy ismétlődően jelen van.

Wilbert E. Fordyce volt az, aki egy szellemes vizsgálatban demonstrálta, hogy krónikus fájdalomban elsősorban nem az aktuális fájdalom szintje az, amely egy adott viselkedés megszakításához vezet, hanem inkább az, hogy milyen előzetes elvárásai vannak a páciensnek arról, hogy majd mikor fog a fájdalom már az elviselhetetlenig, tehát a szenvedésig fokozódni. A vizsgálatban a résztvevőknek szobabiciklin kellett tekerniük egészen addig, amíg a fáradtság vagy a fájdalom meg nem akadályozta a további tekerést. Az egyik eredmény egyáltalán nem volt meglepő: a krónikus fájdalomban szenvedő résztvevők kevesebbet tudtak tekerni, mint a fájdalommentes kontrollszemélyek. A másik eredmény azonban felkeltette Fordyce „gyanúját”: a tekerések száma az esetek közel felében 0-ra vagy 5-re végződött, mintha a résztvevők előre elhatározták volna, hogy meddig fogják bírni a tekerést. Ezt az elképzelését egy következő vizsgálatban tesztelte is. Ismét szobabiciklin kellett tekerniük a résztvevőknek, de kiszámíthatatlan volt, hogy mekkora erőfeszítést kell tenniük, ugyanis

ROSSZ HANGULAT/  
KORLÁTOZOTTSÁG  
ÉRZÉSE

FÁJDALOM

AKTIVITÁSOK  
KERÜLÉSE

FÉLELEM A  
FÁJDALOMTÓL

2. ábra. Fájdalom és elkerülés közötti kapcsolat sematikus bemutatása. Az aktuális fájdalom (pl. sérülést követő fájdalom) vagy a krónikusan jelenlévő fájdalom (pl. krónikus hátfájás), akkor vezet elsősorban különböző aktivitások elkerüléséhez, ha az egyén a fájdalomélményt félelmetesnek, károsnak tartja. A fájdalomtól való félelem sok esetben azért jön létre, mert az egyén katasztrofizálja, azaz eltúlozza a fájdalomélményt, tehetetlennek érzi magát vele szembe és folyamatosan arra figyel. Az aktivitások elkerülése, például a mozgás elkerülése, a fájdalomtól való félelem viszont rossz hangulathoz vezethet, és fokozhatja a fájdalom miatti korlátozottság szubjektív élményét is. Ezek viszont tartósíthatják vagy akár növelhetik is a fájdalom szubjektív élményét.



néha könnyebb, néha nehezebb volt a biciklit hajtani. Lehet, hogy már ki is találták az eredményt! A krónikus fájdalommal küzdők csoportjának teljesítménye ebben az esetben nem tért el a kontrollcsoport eredményétől. Fordyce értelmezése alapján azért, mert nem volt lehetőség a szenvedés kezdetének előrejelzésére, azaz nem volt lehetőség elvárások megfogalmazására, s így az elkerülő viselkedés beindítására (jelen esetben a biciklizés leállítására).

### Elvárások és tapasztalatok

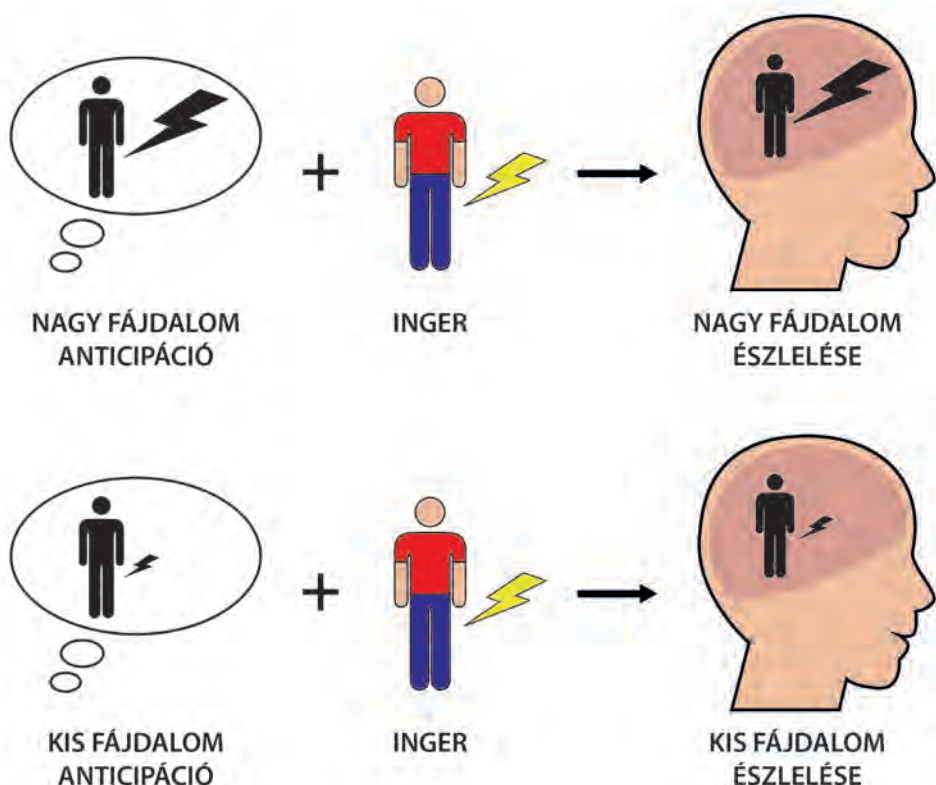
Az elvárásaink nem mindig teljesülnek. Bár arra számítunk, hogy fájni fog a gyökérkezelés, ez mégsem így lesz. Vagy azt gondoljuk, hogy a munkatársainknak tetszeni fog az ötletünk, de inkább kritizálják. A közös a két példában, hogy hiányzik az a kimenetel, amit előre vártunk. Azt is mondhatnánk kicsit képletesen, hogy hiba van a számításunkban.

Hogyan lehet ezt vizsgálni? Képzeljük el a fentebb bemutatott fájdalomvizsgálatot most egy kicsit másképp. Tegyük fel, hogy van egy jelzőingerünk, amit az esetek többségében, mondjuk az esetek kétharmadában, fájdalominger követ. „Joggal” alakulhat ki bennünk az az elvárás, hogy ezt a jelzőingert nagy

valószínűséggel követi fájdalom, így annak a megjelenésére számítunk. Mi történik akkor, ha a jelzőingert nem követi fájdalmas inger? Vagy hétköznapiiban megfogalmazva: mi történik, ha a tapasztalatunk ellentmond az elvárásunknak? Az elképzelések szerint idegrendszeri szinten ún. predikciós (bejósági) hiba generálódik, amely arra utal, hogy nincs megfelelés a predikciónk (azaz az előzetes elvárásunk) és a tapasztalat között. Ez azonban lehetőséget kínál a tanulásra, azaz a pontosabb előrejelzés érdekében a meglévő elvárásaink módosítására.

Am nem mindig vesszük észre az ellentmondást, és úgy tűnik, hogy fájdalominger esetén ez nem is ritka jelenség. Marieke Jepma, holland pszichológus kutató holland és amerikai munkatársaival egy izgalmas vizsgálatsorozatban arra keresték a választ, hogy ez miért lehetséges. A *Nature Human Behavior* c. lapban 2018-ban megjelent vizsgálatukban először egy trapézhoz (mint jelzőingerhez) egy olyan képet társítottak, amely egy hőmérőt mutatott alacsony hőfokkal. Míg egy csúcsára állított négyzethez (mint jelzőingerhez) egy olyan képet társítottak, amely egy magas hőfokot mutató hőmérőt ábrázolt. Ezt követően pedig egy olyan fázis következett, amikor eze-

3. ábra. A fájdalommal kapcsolatos elvárások hatása a fájdalom észlelésére. Az, hogy milyen fájdalomra számítunk, azaz milyen fájdalmat anticipálunk azelőtt, hogy valóban megtapasztalnánk azt, befolyásolja az azzal összefüggő agyi választ is.



ket a jelzéseket valódi hőinger követte (vagy kevésbé fájdalmas, ami rárimelt az alacsony hőfokú hőmérőre, vagy inkább fájdalmas, ami pedig rárimelt a magas hőmérsékletet mutató hőmérőre). Az volt az érdekessége ennek a fázisnak, hogy a jelzőingereket csupán 50%-ban követte az a hőinger, amit a korábbi fázisban megtanultak. A résztvevőknek minden jelzőinger (a trapéz vagy a csúcsára állított négyzet) után meg kellett mondaniuk, hogy mennyi fájdalmat várnak egy 100 egységet mutató ún. vizuális analóg skálán, ahol az egyik végpont a semmi fájdalmat, a másik végpont a legrosszabb elképzelhető fájdalmat jelentette. Minden ingert követően szintén értékelni kellett, hogy az mennyire volt fájdalmas ugyanezen a skálán. Eredményeikből az derül ki, hogy a jelzőingerekhez kapcsolódó elvárások stabilak maradtak, holott a jelzőingerek már nem rendelkeztek igazi prediktív erővel, hiszen fele-fele arányban tudták csak igazából előre jelezni az őket követő ingereket.

### Visszahatások és hiedelmek

Miért nem módosultak az elvárások? Két lehetséges okra vezették ezt vissza. Az egyik lehetséges magyarázat — ahogy a kutatásban résztvevőknél is tapasztalták —, hogy az elvárások befolyásolták a megtapasztalt fájdalom szubjektív értékelését és az azzal összefüggő agyi választ, azaz a fájdalomérzékelést (3. ábra). Ezek a válaszok pedig visszahatottak az előzetes elvárásokra. A másik magyarázat a tanulásban volt kereshető: a meglévő elvárásokkal összecsengő tapasztalatok erősebben hatottak, egyfajta torzítást eredményezve. Vagyis az elvárások hatással voltak az észlelési és a tanulási folyamatokra is. Tulajdonképpen önbeteljesítő jóslatként működtek: a nagyobb fájdalomra való készülést nagyobb intenzitású fájdalom megélése követte, s ez nagyobb hatással volt az elvárásra, mint amikor az elvárással ellentétes információ érkezett az agyba. A negatív elvárásaink így könnyen fennmaradhatnak, és a háttérben álló percepció és tanulási folyamatok egyfajta ördögi kör kialakulását teszik lehetővé.

Pszichoterápiás tapasztalat, hogy az elvárások, amelyek gyakran hiedelmek formájában öltenek testet (például „Ha felszállok a metróra, akkor biztosan elájulok”) gyakran kapcsolódnak össze különböző pszichés megbetegedésekben a mindennapi életvitelt meglehetősen nehezítő viselkedéssel. Ahhoz, hogy ezeket a diszfunkcionális viselkedéseket leépítsük, szükség van arra, hogy az elvárásokkal ellentétes tapasztalatok „felismerésre és rögzítésre” kerüljenek,

illetve egyáltalán létrejöhessenek. Fentebb már említettük, hogy azokban a helyzetekben, ahol van lehetőségünk a kellemetlennek gondolt következmények, például a fájdalom elkerülésére, sok esetben nincs lehetőségünk annak megtapasztalására, hogy az elvárásaink nem is „jönnek be” minden esetben.

Az elvárások hatással lehetnek arra is, hogy a betegek hogyan értékelik a terápiás eredményeket, vagy akár egy műtétet követően a saját állapotukat is. De sokkal hétköznapiabb szintre is hozhatjuk az elvárások kérdését: vajon a sztereotípiáink vagy előítéleteink nem hasonló módon működnek és maradnak fenn?

KÖKÖNYEI GYÖNGYI –PETSCHNER ANNA –  
JUHÁSZ GABRIELLA

### IRODALOM

1. Atlas, LY, Bolger, N, Lindquist, MA, Wager, TD. (2010). Brain Mediators of Predictive Cue Effects on Perceived Pain. *The Journal of Neuroscience* 30(39): 12964-12977.
2. Atlas, LY, Wager, TD. (2012). How expectations shape pain. *Neuroscience Letters* 520: 140-148.
3. Bubic, A, von Cramon, DY, Schubotz, RI. (2010). Prediction, cognition and the brain. *Frontiers in Human Neuroscience* 4(25): 1-15.
4. Csépe, V, Györi, M, Ragó, A. (2007). *Általános pszichológia 2. — Tanulás — emlékezés — tudás*. Osiris Kiadó, Budapest.
5. D'Astolfo, L, Rief, W. (2017). Learning about Expectation Violation from Prediction Error Paradigms — A Meta-Analysis on Brain Processes Following a Prediction Error. *Frontiers in Psychology* 8(1253): 1-11.
6. Fordyce, W. E. (1988). Pain and suffering. A Reappraisal. *American Psychologist*, 43, 276-283.
7. Jepma, M, Wager, TD. (2015). Conceptual Conditioning: Mechanisms Mediating Conditioning Effects on Pain. *Psychological Science* 26(11): 1728-1739.
8. Jepma, M, Koban, L, van Doorn, J, Jones, M, Wager, TD. (2018). Behavioural and neural evidence for self-reinforcing expectancy effects on pain. *Nature Human Behaviour* 2: 838–855.
9. Kerekes, Zs. (2016). Fájdalomélmény és fájdalomemlék. In: Ábrahám, H. (szerk.). *Emberi életfolyamatok idegi szabályozása — a neurontól a viselkedésig*. Pécsi Tudományegyetem; Dialóg Campus Kiadó-Nordex Kft.
10. Kökönyi, G, Galambos, A, Édes, AE, Kocsel, N, Szabó, E, Pap, D, Kozák LR, Bagdy, G, Juhász, G. (2019) Anticipation and violated expectation of pain are influenced by trait rumination: An fMRI study. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 19: 56–72.





150 SOR A TUDOMÁNYRÓL A 150 ÉVES TERMÉSZET VILÁGÁBAN

## Kémia túl a kémián

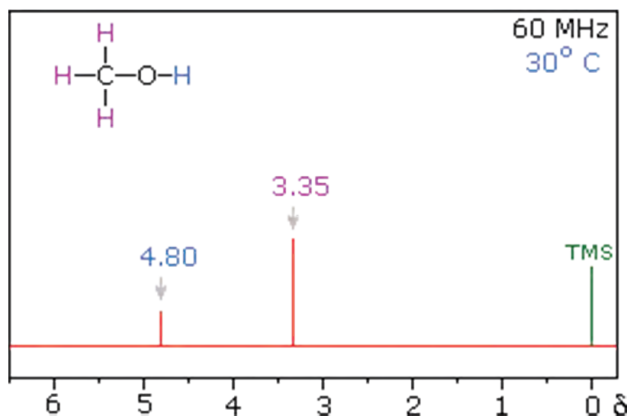
„A kémia számomra majdani képességek gomolygó felhője volt, mely tüzek fényétől szaggatott fekete oszlopaival beborította a jövőmet [...]. Mint Mózes, attól a felhőtől vártam a törvényemet, a rendet, amely bennem lesz, meg körülöttem a világban.” - emlékezett vissza az olasz, vegyészből lett író, Primo Levi, hogyan tekintett a kémia tudományára gimnazista korában, a múlt század harmincas éveiben. A rendet, a megérthető és meg nem kerülhető természettörvények foglatát várta tőle.

Az idézet születése óta eltelt nyolcvan-valahány évben valóban sokat fejlődött ez a tudomány, akkor előre nem látható mértékben gazdagodott nagyszerű eredményekkel, szélességben is, mélységben is. Éppen csak nem várjuk ma már tőle azt, hogy a természet megértésének ő adja a végső kulcsát. Levi dédunokája ma a fizikára, a biológiára, netán valamely modern területre, mint a biofizika, vagy a mesterséges intelligencia-kutatás nézne ilyen lelkesen.

Ez a folyó szétterült a természettudományok és a műszaki fejlődés nagyon sok vidékén. Eredményeit gyakran csak ügyel-bajjal lehet a diszciplína hagyományos keretei között elhelyezni. Persze ez az át-

alakulás nagyon régen megkezdődött. A magfizika atyját, az atommagot felfedező *Rutherfordot* 1908-ban kémiai Nobel-díjjal tüntették ki. Az ünnepséget követő banketten azt mondta: „*Sokféle, különböző sebességű átalakulással foglalkoztam már, de ezek között a leggyorsabb az én átalakulásom volt, amikor egy pillanat alatt fizikusból vegyészé váltam.*” Az átalakulás valóban gyors volt, de azt hiszem, nem a tudós, hanem a tudomány alakult át ilyen sebesen.

A tizennyolcadik század közepén Lomonoszov már világosan megfogalmazta a fizikai kémia feladatát: „*Ez a tudomány a fizika törvényei és kísérletei alapján megmagyarázza, hogy mi történik kémiai műveletek során az összetett*



1. ábra. Metanol mágneses magrezonancia spektruma tetra-metil-szilán oldatban

testekben.” Szerényebben szólva, szeretné megmagyarázni. Mert gyakran nem megy a dolog. Néha a vegyész nem képes szabatos mérések alapján, helyes fogalmakat alkotva feltenni a kérdését. Máskor meg a fizika eszköztára nem elégséges még a válaszhoz. A kémia meglehetősen nagy tapasztalati anyagot gyűjtött össze a tizenkilencedig század közepéig. Ezeknek a felismeréseknek a szemléltetésére egyszerű modelleket alkottak, amelyeket nem csak elgondolni volt könnyű, hanem egy esztendőnyi műhelyében el is lehetett készíteni: itt az elemek atomjait kis golyók képviselik, belőlük épülnek föl a molekulák úgy, hogy a golyókat merev pálcikák, vagy hajlékony rugók kötik össze egymással. Gyermeteg elképzelés, szigorúbb gondolkodók, nagy tudósok, mint például Faraday, el is vetették ezt a „materialista asztalos munkát”. De ezek a naiv modellek, amelyek egyébként azóta is minden kémia tankönyvben szerepelnek, érthetővé-szemléltetővé tettek (és tesznek ma is) egy sor kémiai megfigyelést. Azonban a golyókat összekötő pálcikák természetéről, vagyis a kémiai kötés tulajdonságairól hiába faggatta a vegyész Newton mechanikáját vagy Maxwell elektrodinamikáját, nem kapott kielégítő választ. A mostanában századik születésnapja felé közeledő, de még mindig modernnek tekintett kvantummechanika adta csak meg a helyes magyarázatot.

### A kémia behatol az atommagba

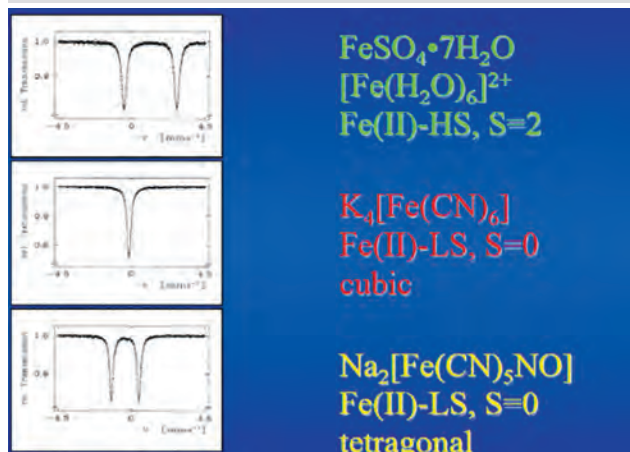
Egy atom, tudjuk, pozitív magból és körülötte elhelyezkedő, negatív töltésű elektronokból áll. Két vagy több atom úgy alkot egy molekulát, hogy elektronjaik egy részét megosztják, azok többé vagy kevésbé egyszerre több atom környezetébe is települnek. Az atomok között

megosztott elektronok: ezek tehát a golyókat összekötő pálcikák. Ez már szép, szabatos fizika, aminek az alapján a molekulák szerkezetét, a kötések energiáját is meg lehet érteni, sőt előre lehet látni. A kvantumkémia tudománya tárgyalja ezeket a matematikai szempontból nagyon nehéz kérdéseket. Ezen a területen új elméleti módszerek felfedezésével és a számítástechnika gyors fejlődésével nagyszerű eredményeket értek-érnek el a kutatók.

Az egyik alapvető feltételezés, amelyen az elmélet nyugszik, hogy a kémia eseményeit meghatározó elektronsűrűség nem befolyásolja az atommagok tulajdonságait. Hogyan is tehetné, hiszen a kémiai kötés vagy általában az elektronsűrűség energiája sok nagyságrenddel kisebb, mint a magban uralkodó, a magátalakulásokban szerepet játszó energiák. Aztán mégis!

Az atommagok egy része, például a hidrogéné, amely mindössze egyetlen proton, mágneses térben úgy viselkedik, mint egy elemi mágnes. Állandó külső mágneses tér hatására igyekszik a tér irányába állni, ha még egy elektromágneses hullám is éri, úgy rezgésbe kezd. A rezgés frekvenciája attól is függ, hogy a rezgő atom szomszédságában milyen más atomok vannak. Más szóval az atommag rezgése a molekula szerkezetétől is függ. Ezen a jelenségen alapszik a *mágneses magrezonancia* módszere. Az 1. ábrán a metanol spektruma látható, amint feltárja, hogy kétféle állapotú H-atom van a molekulában. A módszer a kémiai szerkezetkutatásban is, vegyületek azonosításában is nagyon fontossá lett, de a beteg ember hétköznapijaiban is behatolt: ezen alapszik a nagyon elterjedt diagnosztikai eljárás, az MRI (mágneses rezonancia képalkotás) vizsgálat. Itt a szöveteink víztartalmának a segítségével tekintenek a testünkbe.

2. ábra. Három vastartalmú vegyület Mössbauer spektruma







**3. ábra.** Indium-foszfid / cink-szulfid (InP/ZnS) kvantum pöttyök vízben, csak a pöttyök méretében különböznek egymástól. A pöttyök kibocsátotta sugárzás hullámhossza 530 nm-től 650 nm-ig növekszik, a pöttyök mérete 3,7 és 5,2 nm között változik; nagyobb pötty nagyobb hullámhosszon sugároz.

A mágneses magrezonancia az atommagok mozgását vizsgálja. Egy másik magfizikai eljárás, amely kémiai problémák megoldására is alkalmas, a radioaktív magok bomlását használja ki. Elégge meglepő, hogy a héjelektronok energiájánál sok nagyságrenddel nagyobb energiákon végbemenő magfizikai átalakulások észreveszik, hogy milyen kémiai kötésben, atomi környezetben van az atommag. Pedig észreveszik, mert a mag energiaszintjei nagyon határozottak, igen csekély külső hatás is megváltoztatja őket. Éppen csak megmérni nehéz az ilyen kis változásokat, mert a radioaktív bomlás során a magból kilépő részecske meglöki a magot, ennek a mozgásnak az energiája pedig határozatlanná teszi az egyébként éles energiaszinteket. A *Mössbauer spektroszkópia* alapja az a felismerés, hogy ha a sugárzó atom egy kristályrács része, úgy a mérést nem zavarja a visszalökési energia, mert az eloszlik az egész kristályon. A **2. ábrán** három, egymáshoz hasonló vastartalmú vegyület Mössbauer spektruma látható. Az eltérések szembeötlőek. Az eljárás nagyon sok vegyület szerkezetének a meghatározásán túl fontos a kohászatban, fémtechnológiában, kristálytanban, de a biológiában és az orvostudományban is: mindenütt számít a vegyületek összetétele, felépítése.

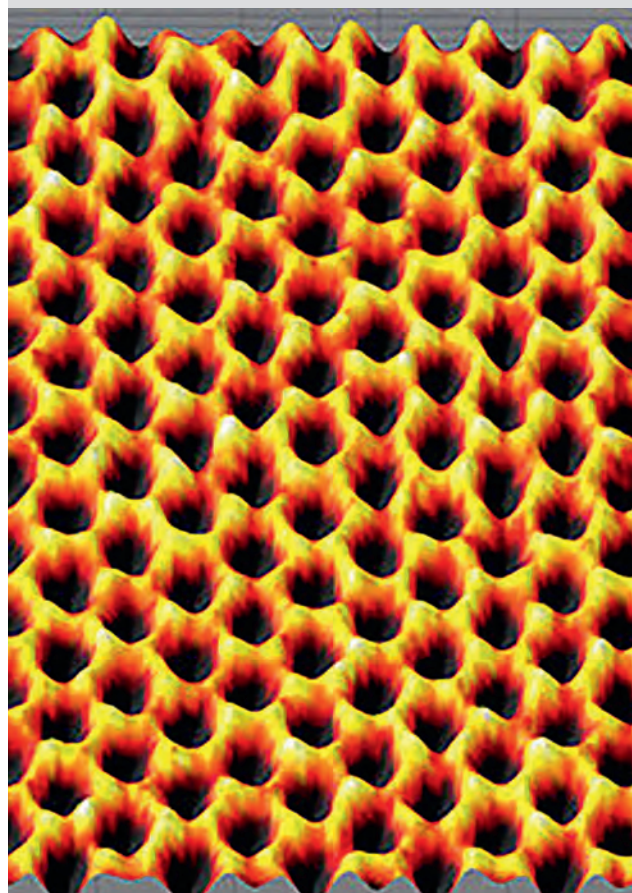
### Méretetek

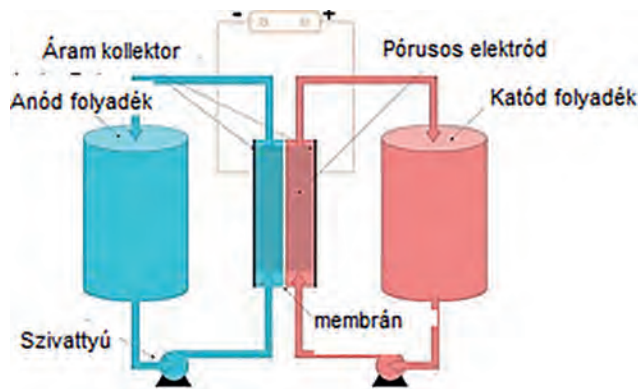
A látható, tapintható testek mérete hatalmas a molekulákéhoz képest; egy köznapi értelemben vett kicsiny testben éppen úgy „végtelen sok” atom, molekula van, mint egy nagyban. Egy cseppentős üveg végén függő

cseppet körülbelül  $10^{19}$  vízmolekula épít fel. Ha azonban a méreteket tovább csökkentjük, meglepő jelenségekre bukkanunk. Kisméretű testeket kétféle úton állíthatunk elő, „fönről le” vagy „lentől fel”: vagy egy nagy testet aprítunk fel, vagy apró csírákat hozunk létre egy oldatban, olvadékban, esetleg gáztérben. Ez utóbbi eljárásokban a kémikusnak kell tevékenynek lennie. Egy apró csíra, pötty ugyan még nagyon sok atomból állhat, de a hosszmérete már elég kicsi ahhoz, hogy a benne lévő elektronok érezzék, falak közé vannak zárva. Fémek szulfidjaiból, foszfidjaiból elég könnyen lehet ilyen, úgy nevezett kvantum pöttyöket előállítani. Ezek közül sok anyag lumineszcenciára képes: ha rövidebb hullámhosszú fény éri, vagy elektromos feszültség alá helyezik, úgy meghatározott színű (hullámhosszú) fényt bocsát ki. Fénykibocsátó diódát (LED-et), napelemet, lézer diódát lehet belőlük készíteni, még az orvosi képalkotásban is szerepet kaphatnak.

Nem csak gömbölyű pötty, hanem vékony sík is viselkedhet meglepő módon. A **4. ábrán** látható grafén a szénnek egy újabban felfedezett módosulata. Itt az atomok a síkban szabályos hatszögű rácsot alkotnak,

**4. ábra.** Grafén alagút mikroszkópos képe





5. ábra. Folyadék akkumulátor

a síkra merőlegesen azonban csupán egy atomnyi az anyag kiterjedése. Hiába hasonlít a rácsa a grafitéhez, tulajdonságaik nagyon eltérőek. Ha alkalmas alakúra szabják, félvezetőként viselkedik, tehát tranzistor, sőt integrált áramkör is építhető belőle. Legújabbban pedig nagy kapacitású, gyorsan tölthető akkumulátorok anyagaként próbálják használni. Hasonló szerkezetű egyik rokona, a molibdén-szulfid, a szén-hidrogén ipar egyes folyamatainak hasznos katalizátora.

## Energetika

Ennek a hatalmas területnek a fontosságáról nyilván nem itt kell írni. Ezen a helyen most csak néhány kérdésre telik. Egyfelől környezetkímélő, „zöld” üzemanyagokat szeretne mindenki használni. Ezeket az üzemanyagokat elő kell állítani. Másfelől egyre nagyobb területeken alkalmazzák a megújuló energiaforrásokat. A megújuló források pedig — itt főképp a Nap és a szél energiájára számítanak — az energia tárolását követelik meg, hiszen se a Nap nem süt állandóan, se a szél nem fúj mindig. Arról nem is beszélve, hogy a gyarló ember, méltatlanul feledve Darwin bölcsességét, egyre kevésbé szeretne alkalmazkodni holmi források szabta korlátokhoz. Energiát tárolni, egyéb módszerek mellett, elektromos energia formájában, akkumulátorokban lehet.

A környezetkímélő energiahordozók között természetesen a hidrogén áll az első helyen: vízből állítják elő és vízzé ég el, amikor felhasználják. Előállításához persze energia kell, és nyilván megkerüljük csak a problémát, ha fosszilis forrásokat égetünk el ebből a célból: ekkor nem az autó kipufogóján, hanem az erőmű kéményén száll el a szén-dioxid. Ha pedig a hidrogént

metán és vízgőz közt lejátszódó, reformálásnak nevezett folyamat segítségével állítjuk elő, szén-monoxid is keletkezik. A víz elektrolízisénel ilyen gond nincsen, de az elektromos energiát valahonnan nyernünk kell. Oláh György azt írja, a nukleáris energia az egyetlen reális lehetőség. Így van-e?

A tárolás dolgában, a régi ólom és az újabban elterjedt lítium akkumulátorok mellett mostanában sokat várnak a folyadék akkumulátorok régi gondolatától.

Az 5. ábrán látható elrendezésben nem szilárd elektródok, hanem a két külön tartályban tartott anód- és katód folyadék tárolja az elektromos töltéseket. A keringő folyadékok között az áramkört egy olyan membrán zárja, amely csak a tárolásban szerepet játszó ionokat engedi át. Vajon ez lesz a megoldás?

Akad még itt dolga a mai vegyészek unokáinak is.

SCHILLER RÓBERT



A Szerző köszöni Pap József megjegyzéseit

## E SZÁMUNK SZERZŐI

**BENKÓ ZSOLT:** tudományos főmunkatárs, MTA Atomki, Debrecen; **FUTÓ PÉTER:** Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék, Koszmokémiai Kutatócsoport; **HAJNAL BÉLA:** habilitált főiskolai tanár, Debreceni Egyetem; **JUHÁSZ GABRIELLA:** egyetemi docens, Semmelweis Egyetem Gyógyszerhatástani Intézet, Budapest; **KOVÁCS ÁRPÁD FERENC:** Phd hallgató, Semmelweis Egyetem, Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet, Budapest; **KORDOS LÁSZLÓ:** paleontológus, egyetemi tanár, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely; **KÖKÖNYEI GYÖNGYI:** egyetemi adjunktus, ELTE PPK Klinikai Pszichológia és Addiktológia Tanszék, Budapest; **MÉSZÁROS ILDIKÓ:** biológia-földrajz szakos tanár, Budapest; **PETSCHNER ANNA:** tudományos segédmunkatárs, Semmelweis Egyetem Gyógyszerhatástani Intézet, Budapest; **SCHILLER RÓBERT:** a kémiai tudományok doktora, KFKI Atomenergia Kutató Intézet nyugalmazott tudományos tanácsadója, Budapest; **TRUPKA ZOLTÁN:** tudományos újságíró, Székesfehérvár;

## KÖVETKEZŐ SZÁMUNKBÓL

**BARTHA JÚLIA:** Felfedezni való tájak Kelet-Anatóliában

**FARKAS CSABA:** Interjú Manczinger Mátéval – Az immunrendszer válasza a kórokozónak

**RUSZKICZAY-RÜDIGER ZSÓFIA:** Elfújta a szél  
**LUKÁCS BALÁZS ANDRÁS – LOVAS-KISS ÁDÁM – WEIPERTH ANDRÁS:** Inváziós fajok a vizeinkben





EXPEDÍCIÓ AZ EGYIK LEGSZÁRAZABB ORSZÁGBAN

# Magyar vízkutatók a Szaharában

Bahai, Csád Szudánnal határos legkeletebbi települése felé egy kiszuperált orosz Mi-26 helikopter fedélzetén haladva a kietlen, száraz tájat szemlélve teljesen reménytelennek tűnt a küldetés: vizet találni a Szaharában. Volt akinek ez már sikerült. A sikerhez nem kell más csak a megszerzett tudás kreatív alkalmazása, bátorság, és persze egy kis szerencse.

Ugyan tanulmányaim alatt és a médiából sokszor hallottam, hogy a sivatag alatt egy hatalmas vízkészlet van – ami így szó szerint azért nem teljesen igaz – nem voltam túl optimista. Ha még lett is volna némi illúzióm a sikerrel kapcsolatban, az gyorsan elpárolgott a leszálláshoz készülődve: az egyik épp működő fúrógépet a levegőből szemlélve több tíz méter magas porfelhő látódott. Ez csak akkor lehetséges, ha száraz követ fúr a fúrógép. Az ENSZ katonai táborba megérkezve kiderült, előérzetem nem volt téves. A területen dolgozó, nagy tapasztalattal bíró holland hidrogeológustól tudtam meg, hogy a környék összes vádija (időszakos folyóvölgye) igen sekély és teljesen száraz. Remény hiányában, és mert már több hónapja dolgozott a sivatagban, a kilátástalannak tűnő vízkutatás folytatását (befejezését) rám bízva, érkezésem után egy nappal hazautazott. Így lettem teljes mértékben tapasztalatlan kezdő geológusként, friss doktori fokozatommal egy vízkutató expedíció egyetlen szakértője – ha csak rövid időre is – a Szaharában. Ha nem találtunk volna vizet, ez a cikk sem születhetett volna meg, de szépen mindent sorjában!

Csád – a Föld egyik  
legszegényebb országa

Öszintén megvallva, napi szintű hírfalóként, 2010 előtt Csádról egyetlen betűt sem olvastam a hírekben. Annyit lehet tudni a földrajzi atlaszból, hogy valahol ott terül

el a szomszédos nagy területű országok (Mali, Szudán, Líbia) által közrefogva, ahol az atlasz csak nagy sárgaságot (sivatagot) és nagyon kevés utat és települést jelöl. Ezeket a területeket képzeletében mindenki tevékaravánokkal, oázisokkal, homokdűnékkel, esetleg bennszülött pásztorokkal társítja. Ez nagyjából igaz is az országra: területének háromnegyede a teljesen száraz szaharai és kiszáradó félben lévő szub-szaharai régióhoz tartozik, említésre méltó mezőgazdasága csak az ország déli negyedében található, amely már az erdős-füves szavannák zónájához tartozik. Bányászata, ipara és jelentősebb települései is erre a területre, valamint az éppen kiszáradó félben lévő Csád-tó partján lévő fővárosra, N'Djamena-ra összpontosulnak. Az ország reménytelen szegénysége egyébként nem lenne szükségszerű: a déli területein jelentős kőolaj és frissen feltárt arany és uránkészletekkel rendelkezik. Ennek ellenére objektív mérőszámokkal mérve, mint például a HDI (humán development index – emberi fejlettségi mutató) ranglistán a mért 189 országból a 186-dik, az egy főre jutó GDP-je pedig 669 USD. Csak összehasonlítás képpen ez utóbbi Magyarországon 14 224 USD, Norvégiában pedig 75 504 USD volt 2018-ban. Csak néhány további száraz statisztikai adat, hogy érthetővé váljon, ez mit is jelent: a Magyarországnál 13-szor nagyobb ország aszfaltozott közúthálózatának hossza 400 km, ezt is a kínai befektetők építették az utóbbi években.

Szociális ellátás, kórházak, iskolahálózat, tömegközlekedés nincsenek, az ország lakosságának 80%-a szegénységi küszöb alatt él.

Az okok és a történelem pedig ugyanaz, mint a többi volt gyarmati országban. Függetlenségét Franciaországtól 1960-ban elnyerve François Tombalbaye lett az ország diktátora, tőle a vezetői pozíciót „természetesen” minden esetben puccsal Hisséne Habré majd tábornoka Idriss Déby „örökölte”. Ő 1990 óta több, többé-kevésbé demokratikus választáson lett megerősítve pozíciójában és ő Afrika egyik legrégebben hatalomban lévő diktátora. Persze ezt szerencséjének és elővigyázatosságának is köszönheti. Hatalomra jutása óta többször – nagyjából éves rendszerességgel – próbálták őt is megpuccsolni, legutóbb 2013-ban. Ez persze nem jelenti azt, hogy hatalma valóban olyan szilárd is lenne. Az országban ugyanis mintegy 200féle különböző etnikum él (szara: 30%; szudáni négerek: 26%, tedák: 7%; mbumok: 7%; maszalit, maba, mimi: 7%; stb.), amelyek többsége ugyan iszlám vallású, de a konfliktusok elsősorban az egyes népcsoportok között feszülnek. Az országban több fegyveres csoport tartja (tartotta) kezében a hatalmat pl.: Janjaweed (arab milícia), JEM (Justice & Equality Movement – Igazság és Egyenlőség Mozgalom), URF (Union des Resistance Forces), amelyek

közül az ANT, a Csádi Nemzeti Hadsereg csak az egyik, de a legerősebb volt. A belső etnikai megosztottságot tovább tetőzte a darfúri konfliktus, amely ugyan Szudán belügye lenne, ha a határ két oldalán nem ugyanazok az egymással harcban álló etnikumok élnének és nem menekült volna közel 280 000 ember a még mindig relatíve biztonságosnak tekinthető Csádba. A darfúri konfliktus 2003-as kezdete és 2011-es vége között 400 000 áldozatot követelt és több mint 2 millióan lettek belső vagy külső menekültek. A konfliktus egyébként több szempontból hatott Csádra. A szudáni és csádi lázadók éves rendszerességgel, a száraz és még viszonylag hűvös időszakhoz alkalmazkodva októbertől májusig, jellemzően novemberben és áprilisban dúlták végig Csádot. A 2009-es volt talán a legemlékezetesebb: a lázadók úgy jutottak el Csád keleti feléből a nyugati határon lévő fővárosba N'Djaménába, hogy alapvető infrastruktúra hiányában nem vették észre őket. Déby szerencséje az volt, hogy a fővárost ostromló két lázadóvezér még a végső győzelem után összeveszett és kivonultak Csádból. Az elnök ekkor kezdett a légierő fejlesztésébe, hogy legalább azt észrevegye, hogy az országon lázadók vonulnak át...

További nehézséget jelentett Csád számára a menekültek ellátása. Az országba 170 000 belső, 55 000 közép-afrikai és 280 000 szudáni menekült érkezett 2010-ig. Ez a végtelenül szegény ország 15 milliós lakosságának több mint 3%-át jelentette, amivel sem biztonsági

A vizkutatásra perspektívikus helyek a felszín alatt, azok elvi modellje és megtalálásuk lehetőségei.



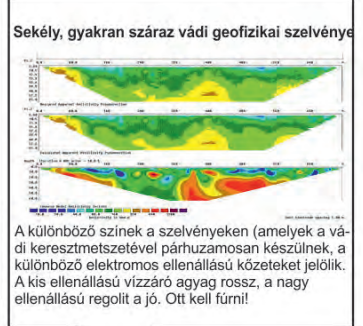
**Törések kovás homokkőben, ahogy a felszínen kinéznek**

Mélyebben ezekben a repedésekben jelentős mennyiségű, tiszta, idős vízkészlet rejlik. Mennyisége viszont kisebb mint a vádíkban. Megtalálni ezeket a törésszónákat csak ott lehet, ahol azok valamilyen szilárd köztetben pl. kovásodott homokkőben jelennek meg és ezáltal kiperárolódnak.



**Vádi (ideiglenes folyóvölgy) növényzettel**

Környezetétől eltérően, gazdag növényzetben. A települések ezek partján találhatók. Kutakat a helyeik a vádi medrébe ásnak és ezekből itatják állataikat. Víz csak ritkán, a nagy esők alkalmával jelenik meg a mederben. A vízszint nyáron 1-2 m-el is lehet a vádi medre alatt.



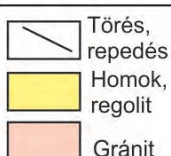
**Sekély, gyakran száraz vádi geofizikai szelvénye**

A különböző színek a szelvényeken (amelyek a vádi keresztmetszetével párhuzamosan készülnek, a különböző elektromos ellenállású kőzeteket jelölik. A kis ellenállású vízzáró agyag rossz, a nagy ellenállású regolit a jó. Ott kell fúrni!

Homok, reglit  
0-3 m

Töredezett gránit,  
diorit, homokkő  
20-60 m

Masszív, törésekből  
ritka gránit aljzat

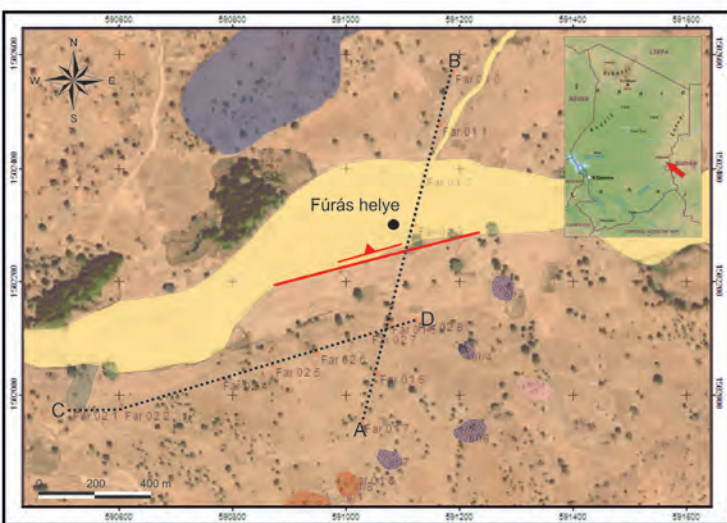
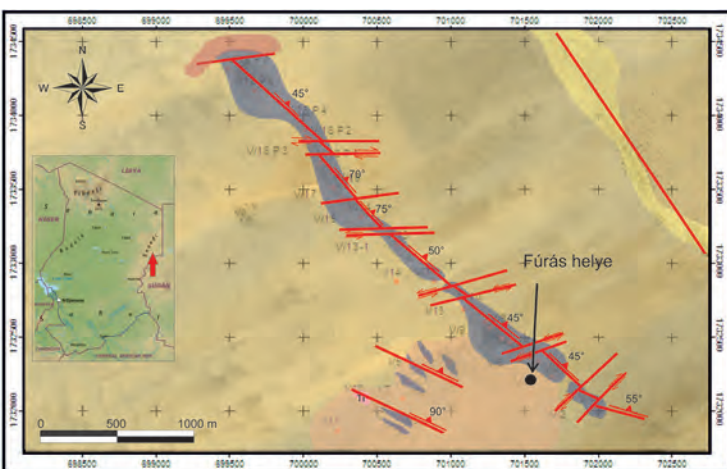


Mély törésszóna  
a gránitban, homokkőben

Mély törésszóna felette vádi nagy  
vastagságú regollittal kitöltve  
A legjobb vízadó.

Kopár, homokos, jellegtelen  
táj, vizet találni nem lehet.





Morfológiai, geológiai térképek hiányában csak a Google Mapsre lehetett hagyatkozni térképkészítés és vízkutatás során. Azonban ez is nagyon hasznos: a sivatagban felülnézetből szépen kirajzolódnak a vádik, a vízkedvelő mangófa csoportok, a hegygerincek és a kisebb feltárások.

sem humanitárius szempontból nem tudott megbirkózni. Az érkező menekültek lokálisan jelentősen felborították a helyben kialakult viszonylag kiegyensúlyozott etnikai arányokat, a segélyszervezetek által osztott „gazdag” segélyek pedig féltékenységet szültek a helyiek és a menekültek között.

### A MINURCAT expedíció

A menekültek nagy száma, a vérengzés, és a sok polgárháború, amely nem csak Csádot és Szudánt, hanem a Közép-afrikai Köztársaságot is érintette 2007-re megütötte az ENSZ ingerköszöbét is és a háború

kiszélesedésétől tartva egy ENSZ kontingens települt Csádba MINURCAT (United Nations Mission in the Central African Republic and Chad) néven. A rendőri és békefenntartó egységek elsődleges feladata a civil lakosság és a menekülttáborok védelme volt. A kontingensbe 25 ország delegált rendőri, katonai vagy műszaki személyzetet, a leggazdagabbaktól (USA, Norvégia) a legszegényebbekig (Banglades, Ruanda). Mandátuma 2010-ben járt le, amikor Idriss Débry tábornok „felkérte” a nemzetközi békefenntartókat a távozásra, mondván, hogy a helyzet megszilárdultával már maga is rendet tud tartani az országában, szavatolni a menekültek jogait, gondoskodni az elesettekről... Ahogy azt megtudtam, „diktátori körökben” nem számít erősnek az, akinél az ENSZ-nek kell a rendet fenntartania. Persze addig jók, amíg ég a ház...utána mehetnek!

A MINURCAT számos feladatot látott el. A szűken vett rendfenntartáson túl foglalkozott emberi jogokkal, jogsegély szolgáltatással, AIDS programokkal, segélyezés szervezésével és bányászattal. Ez utóbbi elsősre ugyan érdekesen hangzik, de ez alatt alapvetően a vízkutatást kell érteni. Ahogy egyéb infrastruktúra sincs Csádban, úgy vízvezeték hálózat sem, márpedig a jelentős létszámú menekült- és a menekültekre vigyázó katonaság vízzel való ellátását valamilyen módon helyben – felszíni vízfolyás hiányában – a felszín alatti vízkészletekből kellett megoldani. Ezt a feladatot a körülbelül 15-20 fős norvég katonai kontingens kapta feladatául. Őket még Norvégiában képezték ki az egyes eszközök (fúróberendezések és felszín alatti elektromos szondák) használatára és a teljes felszerelés a legnagyobb fúróberendezésektől az ellátmányig Norvégiából repülővel érkezett Afrikába. Az eszközök használatára ugyan kiképezték őket, de hogy hol és hogyan kell és érdemes vizet keresni, ahhoz hidrogeológus szakértőre volt szükség. Így lett az expedíció szakmai vezetője Fridtjof Ruden, Norvégia egyik legismertebb



és legjobb hidrogeológusa, aki karrierjének nagy részét Afrikában töltötte. De még ő sem volt elég egyedül, Norvégiában viszont nem akadt más olyan kalandor vállalkozó munkanélküli geológus, aki elvállalta volna a — magyar szemmel kiemelkedő fizetés ellenére sem — hogy a sivatagban, egy lázadóktól dúlt országban, folyamatos katonai kíséret mellett vizet keressen. Így került a kialakuló csapatba, a WDU-ba (Water Drilling Unit — vízkutató egység) a norvég katonák és Fridtjof mellé egy holland hidrogeológus, dél-afrikai menedzser, egy tanzániai fúrómester, és persze mi, magyarok!

### Magyar geológusok Afrikában

Nem mondhatom, hogy én lettem volna az első. Voltak idők, úgy a 80-as években, amikor rendszeresen jártak népes magyar kutatóexpedíciók Líbiában. A Magyar Állami Földtani Intézet (ma: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat) kutatói térképeztek Kadhafi országában olaj után nyomozva — megjegyzendő, nem kis sikerrel, de ez egy másik történet.

Fridtjof Ruden jól ismerte a magyar hidrogeológusokat és geofizikusokat, akik a régi afrikai hagyományokra, szakmai kihívásból és egy kicsit kalandvágyból, csatlakoztak a WDU-hoz. Összesen négyen töltöttünk rövidebb-hosszabb időt 2010-ben Afrikában és vetünk részt fúrás helyek kijelölésében és a kútesztekben. Ezek a kutatások az ország keleti felében lévő nagy menekülttáborok (Abeche, Iriba, Bahai és Frachana)

közelében létesült ENSZ táborok vízellátására koncentráltak. Így kerültem én is Csádba a MINURCAT mandátumának lejáta előtt alig pár hónappal.

### A vízkutatás körülményei

Mint Afrikában oly sok mindent, ezt is a végletes szélsőségek jellemzik, amelyekről csak szuperlatívuszokban lehet írni. A kutatás lépcsői a térképezés, ami a kiszemelt terület bejárását jelenti, majd geofizikai mérések elvégzése, és ha ezek alapján van esély, akkor kezdődhet a fúrás. Mindent kint szabadban és nappal, amikor a hőmérő higanyszála napon közel van az 50 °C-hoz, a 36 °C-os „klimatizált” sátor igazi felüdülést okoz. Ehhez társul az extrém alacsony páratartalom (~20%), ami mellett az ember közel 1-2 óra alatt teljesen kiszárad, de annyira, hogy észrevétlenül gyorsan eszméletvesztés lehet a vége. Leégés ellen természetesen teljes öltözetben illik mozogni, cipelve a térképet, kalapácsot, és a legalább 3-4 palacknyi italt. De nem számomra volt mégsem a legkellemetlenebb a helyzet! Mellém rendelték ugyanis minden alkalommal 4 állig felfegyverzett nepáli ENSZ katonát, akik a biztonságomat voltak hivatottak garantálni. Ők, és az engem kísérő terepjáró sofőrjét sajnáltam csak igazán, mert nekik a még több felszerelés mellett a napi 12 órás unalommal is meg kellett küzdeniük, amíg én számukra teljesen értelmetlen dolgokat végzek, például kalapálom az elem kerülő köveket, térképet rajzolok. A kutatófúrások ellenben számomra voltak kissé unalmasak: amíg a fúrás zajlott semmi dolgom nem volt, a norvég katonák viszont teljes összhangban, hozzáértéssel és szinte semmi pihenőidő mellett fúrták a lyukat napi 10-12 órában. A sivatag porát kellőképpen kompenzálta a táborok felszereltsége. Amíg az úton számtalanszor víziert/élelemért könyörgő emberek mellett kellett elhaladnunk, a táborban igazi mennyország fogadott. Gyorsan megtapasztaltam, hogy mit jelent az, hogy a norvég tábor a legjobban felszerelt: a dupla borítású sátorokban állandó 22 °C fogadott, darts, csocsó, gitár, play-station, wi-fi, a konyhában pedig svédasztalos kiszolgálás, közel olyan étkezővel, mint amilyeneket csak 3-4 csillagos hotelekben lát az ember. Örült kontraszt a két világ között, amit itthon el sem tudunk képzelni. Ezt kell látni ahhoz, hogy elhiggyük: minden sirámunk ellenére a világ leggazdagabb országainak felső egynegyedéhez tartozunk!

A helyi lakossággal kapcsolatunk csak minimális volt, ezt az ENSZ szabályzata sem engedte volna. Városokba kimenni csak felfegyverzett katonai konvojjal lett volna lehetséges, így nem is próbálkoztam vele. Terepi munkáink során ellenséges lázadókkal nem, de fegyveresekkel találkoztunk. Ők Toyota Pickupjaik







platóján utazva néha közel jöttek és szemügyre vettek, de mi kerülve a szemkontaktust és a kommunikációt mindig megúsztuk az efféle találkozásokat. Legmegrázóbb számomra a gyerekekkel való találkozás volt. Alig 5-6 éves gyerekek már több literes palackokkal hordták az ismert kutakról vagy a mi kútjainkról a vizet. Mi ugyan nem közeledhattünk volna feléjük, azért mindig megtaláltuk a módját, hogy ha lehet, megajándékozzuk őket. Bár eleinte mindig féltek, azért idővel mindig felbátorodtak és jöttek, érdeklődtek, és persze könyörögtek ételért, de leginkább vízért. Egyszer megtörtént, hogy maradék ebédünket a gyereksereg legkisebb, legvéznaabb tagjának adtuk. Ő örült is neki, a többiek azonban mind rávetették magukat, így a rizseshús teljes egészében a homokban landolt. Ekkor értettük meg miért tilos megállni vagy bárhogy segíteni nekik: segítségünkkel mind rájuk mind magunkra veszélyt jelentettünk volna egy esetleges pánik esetén. Legfájóbb az volt, hogy mindezek után hozták nekünk ajándékba a frissen szedett mangót...

Dolgozni (vizet hordani, kecskékre vigyázni) amúgy a gyerekeken kívül csak nőket láttam, fiatal nőket. A férfiak többsége a teázókban üldögélt vízzipázva, gondolom az éppen aktuális politikai helyzetről diskurálva.

## Hol a víz?

Mindenki tudja az iskolai földrajz óráról, hogy a sivatagban alig esik eső. Ez valóban így is van, Csád északi harmadában, a sivatagos területein az éves csapadék mennyisége 50 mm alatt van. Ettől délre folyamatosan nő az éves csapadékmennyiség, azonban ennek időbeli eloszlása szélsőséges, a csapadék június és szeptember között időszakos nagy viharokból esik, jellemzően egyszerre nagy mennyiségben. Ezzel a csapadékkal az a gond, hogy hirtelen lehullva a száraz talaj nem képes egyszerre elnyelni a teljes mennyiséget és a csapadék jelentős része lefolyik a többnyire lefolyástalan völgyek, a vádik irányában. A leömlő csapadék ide mossa le a sziklákról a nagy hőingadozások során összeaprózódott kőzetet, a regolitot. Ahol a vádik véget érnek, a terület legmélyebb pontjain, ott halmozódhat fel a legtöbb regolit, akár 100 méter vastagságban is. Ez, a többnyire durva kőzettörmelékkel létrejövő képződmény, amiben viszonylag alacsony az agyagtartalom, kiváló víztároló és hatalmas vízkészletek tárolására is alkalmas, még akkor is, amikor a felszínen már minden kiszáradt. Abeche környékén magyar hidrogeológus kollégáim ilyen vádikban tártak fel hatalmas vízkészleteket, amelyekben a vízszint a folyamatos termelés ellenére sem csökkent jelentősen, azaz a vízkitermelés a területen megfelelő szakértelem mellett fenntartható lehetne. Visszatérve Bahaiba, az én kutatási területemre az a kutatási taktika, mely szerint fúrjuk meg a legmélyebb vádikat, nem működött. Kiderült, hogy mivel a terület magasabban fekszik az Ennedi-fennsíkon, így a vádik sekélyebbek és néhány tíz méter után a fúrófej a kemény alapkőzetbe, többnyire gránitba ütközik. Az összes szóba jöhető vádi tesztelése után vettem át a kutatást a katonai táborban, látszólag minden remény nélkül. Egyetemi tanulmányaim során viszont azt tanultam tanáraimtól, hogy a víz nem csak a folyókban





illetve azok törmelékében lehet, hanem a kőzet repedéseiben is. Lehet nem annyi, mint egy egészséges vádiban, de abban is lehet sok. Igen ám, de egy homoksi-  
vatagban hol lehet ilyen repedéseket találni? A hegyek tetején! A tábor közelében több hegygerinc húzódott, amelyekről közelebb érve kiderült, hogy kovásodott anyagú homokkőből állnak így jobban ellenálltak a szélérozióznak és a fagyaprózódásnak és kiemelkedtek a lepusztult térszínből. Ezeket megmászva sikerült két nagyobb, a kőzetet metsző repedésrendszer metszetét kitérképezni majd kiserkeszteni térben azt a mélységet, ahol a két törés egymást a hegy lábánál körülbelül 50-60 méter mélységben metszi. Ezt a pontot jelöltem ki a fúrás célpontjának. Egyéb ötlet és utasítás híján, másnap reggel már egy hat kocsiból álló, a berendezéseket szállító konvoj élén mutattam lelkes norvég kollégáimnak, hol lesz az új fúrás helye. A siker igen kérdéses volt. Nem voltam egyáltalán biztos az elméletben, illetve abban, hogy ez ott működhet, a fúrógép pedig csak 100 méterig volt képes fúrni, puha kőzetben, nem pedig töredezett kovás kőzetben. Ennek ellenére a próbafúrás teljes sikert hozott! Körülbelül 40 méteres mélységben már meg is jelent a víz és csak több és több lett, amint lejjebb értünk. Két hetes sikertelen kutatás után sikerült vizet találni! A második nagy öröm akkor ért, mikor kiderült, a kitermelés rövidtávon legalábbis fenntartható, azaz a kút a benne lévő összes víz leszívása után gyorsan újratelítődik. Bánatomra azonban

a területet néhány napon belül el kellett hagyni. A kutat lezártuk, szivattyút építettünk úgy, hogy később is használni lehessen, a kulcsot pedig a katonai parancsnok átadta a helyieknek.

Ha a kút sorsáról azóta sem tudni sokat, a tapasztalatot magammal vittem. Második kutatási területemen, a Farchana mellett, a kutatásvezetővel Fridtjof Rudennel egyetértve a vízkutatást már nem is a legmélyebb helyeken kezdtük, ahol az amúgy logikus lett volna, hanem a hegytetőkön. Ott, ahol a töréseket kitérképezhettük és meghatározhattuk, a völgytalpakon hol lesz a felszín alatt törészóna. Az eredmény itt is hasonló volt: egy próbálkozásból egy siker. A kutat itt is kiépítettük...

### Utószó

Attól tartok, kútjaink nem kerültek a legjobb kezekbe. Néhány héttel hazautazásom után a teljes MINURCAT missziót felszámolták és norvég kollégáimmal egyetemben, minden rendfenntartónak el kellett hagynia Csádot. Ezeknek a kutaknak a műveléshez szakértelemre és megfelelő eszközökre lenne szükség, ami Csádban biztosan nem áll rendelkezésre. Fájdalmas volt otthagyni ezt a területet úgy, hogy tudjuk segítettünk és még többet segíthettünk volna, ugyanakkor ezt a megfelelő infrastruktúra, végső soron egy rossz politikai rendszer miatt nem tehettük meg. Szent meggyőződésem, hogy hozzáértéssel a sivatagos száraz területet csepegtető locsolással és megfelelő talajhasználattal kiegészítve egy gazdag mezőgazdasági területté lehetne varázsolni. Olyanná, amely ellátja és megtartja az ottani lakosságot és nem kényszeríti szülőföldjének elhagyására!

BENKÓ ZSOLT



#### Köszönetnyilvánítás

Hálás köszönettel tartozom Molnár Kata kolléganőmnek, aki jobbitó megjegyzéseivel és stilisztikai javításaival segítette a szöveg olvashatóbbá tételét!

### IRODALOM

- MacDonald, A.M., Bonsor, H.C., Dochartaigh, B.É.Ó., Taylor, R.G., 2012. Quantitative maps of groundwater resources in Africa. Environ. Res. Lett. 7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024009>
- Maréchal, J.C., R. Wyns, P. Lachassagne, and K. Subrahmanyam. 2004b. Vertical anisotropy of hydraulic conductivity in the fissured layer of hard-rock aquifers due to the geological patterns of weathering profiles. J. Geol. Soc. India 63:545–550.





# Beszélgetés a Széchenyi-díjas Kiss L. László akadémikussal

Kiss L. László csillagász számára 2019 igencsak mozgalmas év volt már eddig is. Január 1-jétől az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont (CSFK) főigazgatói tisztét látja el, március 15-én Széchenyi-díjat kapott, májusban pedig az MTA rendes tagja lett. Nevét, arcát, jellegzetes stílusát a nagyközönség is jól ismeri, hiszen rengeteget szerepel különböző tévéműsorokban. Szívesen és élvezetesen mesél a csillagászat és az űrkutatás aktuális eredményeiről és ugyanezt tette az interjú során is, ahol nem csak tudományról, hanem személyes vonatkozásokról, sőt tudománypolitikai témákról is kérdeztük.

— *Bár a világ egyik legközhelyesebb újságírói kérdése, hogy — ön szerint — mire kapta a Széchenyi-díjat, mégis feltésem, mert ezt az elismerést általában életműdíjként adják és nem egy 46 éves fiatalembernek?*

— Ez a legnagyobb állami kitüntetés Magyarországon, amit tudós kaphat. Ez egy személyes elismerés, aminek természetesen rendkívüli módon örülök, de én ebben azt is látom, hogy a csillagászatot mint szakmát, meg a többi dolgot, amit csinálók, nagyobb súllyal tudom képviselni. Annak pedig különösen örülök, hogy az indoklásban benne van az oktatási és tudománykommunikációs tevékenységem is.

Hogy miért én? Igazából sok a felterjesztés, de ez önmagában nem elég. Kell az is, hogy a döntőnkökből legyen valami pozitív érzés, hogy ez a figura vagy figura tényleg megérdemli. Azt gondolom, hogy az én esetemben kevésbé vagy nem csak az volt fontos, hogy hány száz publikációm jelent meg vagy mennyi milliót pályáztam az elmúlt 10-15 évben. Inkább az, hogy az Ausztráliából való hazatérésem óta nagyon aktívan felvállaltam a csillagászat, a Lendület programon keresztül pedig a Magyar Tudományos Akadémia széleskörű társadalmi képviseletét. Engem szeret a média, mert, ha hívnak, mindig megyek. Sokszor összefutottam különböző eseményeken döntéshozó emberekkel, akik mindig gratulálnak, hogy kedves László maga mindig olyan jó szokott lenni a tévében, mert értem és érdekes, amit mond, csak csinálja és folytatja.

— *A nézőket is lenyűgözi a stílusa, de honnan ered a kommunikációs készsége?*

— Apámra tudok hivatkozni, aki az 1970-es években egy tipikus szocialista jugoszláviai feltörekvő magyar fiatal volt. Esti iskolán végezte a középiskolát meg a főiskolát, mellette a vajdasági magyar humoristák évkönyvébe időnként publikáltatott. Egy jó humorú, az életet élvezni kívánó ember volt. Anyám mesélte róla, hogy mindig az volt a terve, hogy író vagy költő lesz és majd a padláson fog alkotni, ahol lesz egy nagy ablak,



Kiss L. László  
(Fotó: Turtóczki Tímea)

amin keresztül látja a csillagos eget. Ez a vénám édesapámtól származhat. 74-75 körül a házassági évfordulójukra édesanyámnak egy csillagászati könyvet adott ajándékba. Anyámat nem nagyon izgatta, de én azért lettem csillagász, mert ez a könyv elvarázsolt. Fred Hoyle *Csillagászat* című könyvéről van szó, amit 7-8 évesen elkezdtem lapozgatni. Nem értettem belőle semmit, mert szerb-horvát nyelven szólt, de a fotókat nagyon szerettem és felébredt bennem a vágy, hogy ezeket a dolgokat lássam a saját szememmel is.

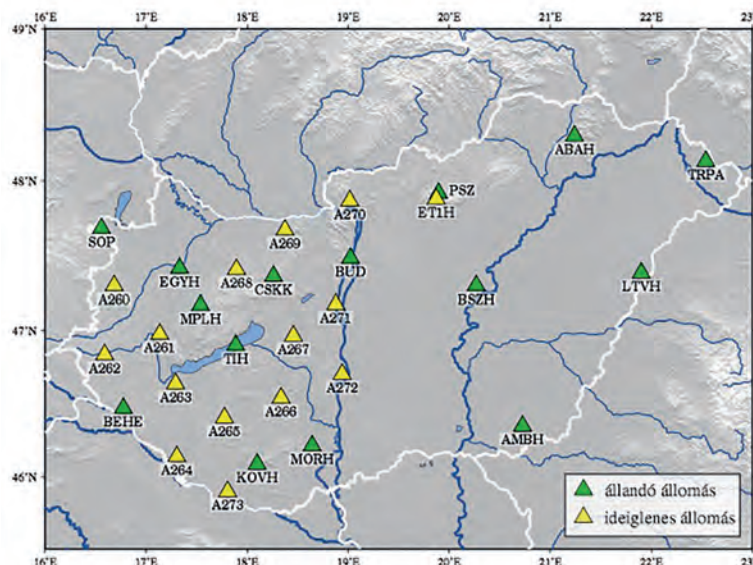
A kommunikációs készségem azért is érdekes dolog, mert a családi legendárium szerint 5 éves koromig nem beszéltem egyáltalán, tehát egy teljesen magába forduló kisgyerek voltam. Általános iskolai emlékeimet felidézve nagyon szerettem, amikor történeteket kellett felolvasnom magyar nyelv és irodalom órán. Ez teljesen normális volt Jugoszláviában, egy színmagyar faluban, Horgoson. Szerettem is, tudtam is, a tanárok hagyták, hogy csináljam és ilyenkor el tudtam szakadni ettől a magába forduló valakitől, egyfajta színpadi szereplésként felfogva dolgokat.

Hogy most mi hajt, hogy ilyen szívesen csinálom? Igen nagy szellemi örömet okoz, amikor tartok egy előadást és az jól sikerül. A bennem élő csepűrágó már óriássá fejlődött az elmúlt években. Szeretek szerepelni, élvezem a szereplést, kiállni emberek elé, akik pozitívan élik át. Tudom, hogy jól csinálom, de azt is tudom, hogy bőven vannak még tőlem is jobbak és én kellő szakmai alázattal fordulok feléjük és nagyon szívesen tanulok a jobbaktól. Ugyanakkor nagyon fontosnak gondolom azt is, hogy adófizetői pénzből kitartott tudósként a társadalom felé visszaadjam, hogy mivel is foglalkozom, mit sikerül elérni közpénzből támogatott kutatóként.

— *Manapság, kis túlzással, úgy tűnik, hogy minden a műszerek, eszközök, módszerek fejlesztéséről szól. Ezek mellett van még egyáltalán szerepe a kutatói kreativitásnak?*

— Hogy a legújabb eszközöknél van-e szerepe a kutatói kreativitásnak, arra két gigantikus igent mondok. Az egyik példa, hogy az Amerikai Egyesült Államokban nagy hagyománya van a Decadal Survey-eknek. Ez azt jelenti, hogy évtizedenként a kutatói közösség white papereknek nevezett dokumentumokba gyűjti a terveket arról, hogy mit akarnak csinálni a következő tíz évben. Ez éppen most zajlik a 2020-tól 2030-ig terjedő időszakra. A beérkezett javaslatokat szakmai bizottságok elemezzetik és beazonosítják azt a négy-öt irányt, amit aztán reálisan végig tudnak vinni a következő évtizedben.

A másik gigantikus „igen” egy saját példánk. A Kepler-űrtávcsövet kimondottan exobolygók felfedezésére optimalizálták, de amikor 2013-ban véget ért az eredeti misszió, rájöttünk, hogy a Naprendszer égitestjeit is lehet vele vizsgálni. Egy nagyon speciális pixelmaszkkal le lehet követni az ismert Neptunuszon túli kisbolygók lassú vonulását a látómezőben és kimérhetjük az égitestek forgását meg más tulajdonságait. Klasszikus csapatmunka volt és nagy örömmel mondom, hogy én is részt tudtam benne venni. A Trójai kisbolygókat is megtudtuk figyelni a földközeli, gyorsan mozgó égitestekről is



1. ábra. A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állandó és ideiglenes állomásai 2017-ben (A KRSZO évkönyvéből)

van néhány figyelemre méltó megállapításunk. Ez mind kimondottan a kutatói kreativitás eredménye és büszke vagyok, hogy magyarok vannak ennek a témának az élvonalában, cikkeink is csak nekünk vannak ezekről.

— *Ezek szerint az MTA CSFK főigazgatójaként is van még ideje tudománnyal foglalkozni?*

— A válaszom igen, de ezt ketté kell választanom. A tudománnyal való foglalkozás az is, amikor kéziratok bírálásával vagy pályázatok írásával szolgálom a szakmai közösséget. Ezek az adminisztrációnak látszó dolgok is a tudomány fejlődését segítik. A másik, ami az elmúlt pár évben nagyon jól működő modellt vált, hogy időnként néhányan elvonulunk Veszprémbe a VEAB vendégházába, kikapcsoljuk a telefonokat, az e-maileket, és három-négy napig csak tudománnyal foglalkozunk. Eddig a Kepler K2 programjának adataival dolgoztunk, most már a TESS űrtávcső adatait fogjuk masszírozgatni. Persze ez az időmnek nagyon kis százaléka, de én most tudománymenedzserként vagyok alkalmazva.

— *Ha félig-meddig viccesen is, de bizonyára sokan megkérdezték már öntől, hogy ehhez gratulálni kell vagy részvétet nyilvánítani?*

— Az egy fontos üzenet, hogy nem kell engem sajnálni, hiszen az én választásom volt, én pályáztam meg a CSFK főigazgatói posztját. Január 1-jén vettem át, három földtudományi és egy csillagászati intézet tartozik hozzám 232 munkavállalóval, nekik én vagyok az egyszemélyi felelős vezetője és képviselője. Azonnal belecsöppentem az MTA és az Innovációs és Technológiai Minisztérium közötti csörtébe, de ettől függetlenül is azt gondolom, most vagyok azon a helyen, ahová a legjobban illeszkedem a képességeimet tekintve.



— *Milyen tervei vannak a következő évekre?*

— Vannak rövid-, közép- és hosszútávú céljaim. A rövidtávú nyilván az, hogy jussunk túl 2019-en. A közép és hosszútávú célok közül a legalapvetőbb a finanszírozás kérdése. Vannak hazai és EU-s támogatású operatív programjaink milliárdos értékben, vannak az Európai Kutatás Tanács (ERC) pályázata, amelyek 2022-ben járnak le. Bármilyen intézményben a menedzsment legfontosabb feladata megteremteni a folytatás lehetőségét. A főigazgatói pályázatomban is benne van, hogy 2021-ben, az első vezetési periódus végére mindegyik intézetben legyen legalább egy új ERC-nyertes pályázat. Ez nagyon kemény vállalkozás, de ha csak kettő lesz, már az is jó. Ha nagyjából a következő tíz évre sikerül megteremteni a pénzügyi biztonságot pezsgő tudományos kutatásokkal, akkor ebben a távlatban ténylegesen át lehet vinni a gyakorlatba azokat az értékeket, amelyeket szeretnék képviselni. Nálunk a nemzetközi tudományos kiválóság a mérce, ehhez mindenképpen erős projektorientált gondolkodásra van szükség.

— *Melyek ezek a projektek?*

— A Csillagászati Intézetre van a legközvetlenebb rálátásom, ott az űrcsillagászatot rendkívül fontosnak tartom. Amikor űreszközöket tervezünk, cégeket kell megbízunk. Vannak Magyarországon űripari cégek, amelyek képesek a legmagasabb nemzetközi űrstandardoknak megfelelni. Ami nagyon fontos — még mindig az űrcsillagászatnál maradván — az a Big Data asztrofizika. A földtudományokban is megvan a Big Data-megközelítés.

Mi nem elméletekből akarunk összefüggéseket levezetni, hanem megnézzük a valóságot és minél több adatot összegyűjtve próbáljuk meg visszafejteni az alatta lapuló törvényszerűségeket. Ez már most is robbanás közben levő terület, a 2020-as években a csillagászatban és a földtudományokban is nagyon erőteljes fejlődés előtt áll.

— *Mondana néhány konkrét kutatási irányt?*

— Hogy még konkrétabb legyek, néhány példát emelnék ki a tudományosan is érdekes kutatás-fejlesztések közül. Szeizmológusaink működtetik a földrengésjelző hálózatot Magyarországon. Piszkés-tetőn, a csillagászati obszervatórium mellett található az egyik legfontosabb szeizmográfunk, ami nemrégiben egészült ki egy infrahangdetektorral. Kapcsolódó GINOP-projektünkben („Kozmikus hatások és kockázatok” címmel, 941 millió Ft-os támogatással négy évre) a földközeli égitestek vizsgálata zajlik. Meteorok, meteoroidok, föld-súroló kisbolygók és holdi becsapódások kutatásáról beszélünk, ez az, amiben a geofizikus és a csillagász a légköri robbanásokon keresztül együtt tud működni. Szeizmológusaink benne vannak az AlpArray nevű programban, ami az európai geofizikusok nagy vállalása, hogy föltérképezzék az Alpok tágabban vett környezetében a földkéreg szerkezetét, szeizmikus aktivitását. A Földrajztudományi Intézetben zajlik annak a vizsgálata is, hogy a szaharai homok hogyan szennyezi be Európát, milyen messzire jut el. Van egy

2. ábra. Csillagívek a piszkéstetői 1 méteres távcső kupolájával (Fotó: Kuli Zoltán)





3. ábra. A piszkéstetői egy méteres távcső észlelés közben

1 milliárdos alkalmazott kutatás-fejlesztési NVKP-projektünk, amiben cégekkel, egyetemekkel együttműködésben a budapesti várostérség vízminőségét befolyásoló tényezőket vizsgáljuk. Megfelelő mennyiségű anonim mobiltelefonos cellainformáció alapján nyomon lehet követni a lakosság vándorlását például az agglomeráció és a főváros között. Ez ugyanis befolyásolja a környék vízminőségét is.

— *Említette, hogy már a 70-es évek végén foglalkoztatta a csillagászat. Bár ellenkező irányból szokták megközelíteni a kérdést, most mégis azt kérdezem, van-e a mai csillagászatnak olyan ága, amit még ugyanúgy művelnek, mint 40 évvel ezelőtt?*

— Ez nagyon jó kérdés, mert el kell rajta gondolkodni. Az világos, hogy a megfigyelő csillagászat azóta teljesen átalakult, ott lényegében semmi nincs abból, ami régen volt. Az elméletek érdekesebbek ilyen szempontból, mert vannak olyan asztrofizikai problémák, ahol csak és kizárólag numerikus számítógépprogramokon alapuló megoldások vannak. Ezek gyökerei a 70-es évekig visszanyúlnak. Például a Fortran programozási nyelv mindmáig használt az elméleti asztrofizikusok körében. A csillaglégkörök színekének kiszámításához használt egyik kódcsalád, az

ATLAS gazdája egy Robert Kurucz nevű n-edik generációs magyar Amerikában, aki a Harvard Intézetből ment nyugdíjba. Kurucz a 70-es években még lényegében síkkal közelítette a csillagok légkörét, bár tudjuk, hogy háromdimenziós objektumról van szó, és szférikus modellt is kellene használni a megértéséhez, de az akkoriban nem volt megoldható. Az ATLAS kódcsalád alapegyenleteit még ő gépelte be annak idején. A számítástechnika azóta persze hihetetlenül nagyot fejlődött, de az, hogy numerikusan oldunk meg bonyolult differenciál-egyenleteket, lényegében évtizedek óta változatlan.

— *Hadd tegyek fel még egy közhelyes kérdést, de ígérem, utoljára: a modern csillagászatot a mai Magyarországon hogyan lehet hasznosítani a társadalom számára?*



4. ábra. Az MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet 60 centiméteres távcsövének kupolája  
(Fotó: Kuli Zoltán)

— Valóban gyakran elhangzik ez a kérdés, de nem lehet elégszer hangsúlyozni, hogy a csillagászat nem arról szól, hogy elvárásolt emberek a távolba meredve nézegetnek valamit, aminek semmi haszna a társadalom számára. A sok lehetséges válasz közül most csak egyet emelnék ki, az oktatást. Persze nem kell mindenkiből csillagászt csinálni, de a csillagászat a népszerűségén keresztül a műszaki-természettudományos szakmák felé tereli az ügyes kezű és okos fejű fiatalokat és olyan területekre kerülhetnek, amelyek jelentős hasznot hozhatnak akár nemzetgazdasági szinten is.

TRUPKA ZOLTÁN





AZ ÉV ŐSMARADVÁNYA

## Lábnyomok a kőben

A németországi Hannover melletti Münchenhagen Dinosaurus Park múzeumi boltjában szemlélődve egyik kollégám megbökte a vállamat és a pult mögötti tárgyakra mutatva megkérdezte, hogy azon a kőzetlapon nem a Komlosaurus lábnyoma van? Tekintetem tovább siklott, s megállapodott a 400 német márkás árcédulán. A csempészáru gyenge minősége miatt egyébként alig érhetett valamit. Kollégám csak előző napon hallott a Komlosaurusról, amikor 2000-ben a Düsseldorfban megrendezett, az első európai dinoszaurusz-szimpoziumon bemutattam a mecseki 180-200 millió évvel ezelőtt élt „sárkánygyíkok” lábnyomkutatásának eredményeit.

Az 1997-2000. évek között az OTKA támogatásával végzett felmérés eredményeként közel 700 db, közintézményben elhelyezett és sokszáz, a magángyűjtemények féltett kincsei közé tartozó *Komlosaurus* és más állatok lábnyomait ismerjük. A *Komlosaurus* azóta szobrot kapott a pécsi Misina-tetői kilátóban, a komlói József Attila könyvtárban- és helytörténeti gyűjteményben, és a Magyar Természettudományi Múzeum állandó kiállításán is. Sőt, a 2014. évi országgyűlési választások reklámjában is megjelent mint az adott párt baranyai csoportjának legrégebbi jelöltje! A Magyarhoni Földtani Társulat az „Év Ősmaradványa 2019” címmel, nyilvános szavazással tüntette ki.

### A *Komlosaurus*

A mecseki kőszénbányákból előkerült, az akkoriban ismert dinoszauruszok között addig ismeretlen, leggyakoribb fajt jellegzetes lábnyoma alapján Kordos László 1983-ban *Komlosaurus carbonis*-nak nevezte el. Első példányait 1966-ban a vasasi külfejtésben Csörnyei Zoltán technikus-üzem-mérnök találta meg, majd Wein György geológus közvetítésével Tasnádi

Kubacska András őslénykutató és szakírónak köszönhetően a Magyar Állami Földtani Intézetbe szállították a lábnyomos tömböt. Annak szétesése után az abból előkerült lábnyompár lett a *Komlosaurus* típuspéldánya. Az egyébként gyenge megtartású, de a jellegzetes morfológiai karaktereket ennek ellenére is hordozó lábnyomok ismeretét kiegészítette a Komlóról 1980-ban előkerült, a Fazekas Imre

1. ábra. Lábnyomfelület térképezés utáni leletmentése a vasasi külfejtésben 1989-ben (Fotó: Kordos László)





biológus-múzeumvezető által megmentett kitűnő minőségű természetes lenyomat és annak fedő másolata. Miután a hazai őslénytani szenzációnak kikiáltott *Komlosaurus* a kövületvadászok keresett célpontja lett, az ELTE diákjai, a Földtani Intézet munkatársai, valamint magángyűjtők — közöttük is a komlói Gál Miklósnak köszönhetően — felbecsülhetetlen leletmentéseikkel gyarapították az akkor még működő bányák, majd a meddőhányókra száműzött és porladásra ítélt sok száz *Komlosaurus*-lábnyomot. Eközben jó néhány, nehezen értelmezhető jelenség, és a *Komlosaurus*tól eltérő, de velük együtt élő állatok életnyomai is előkerültek.

A *Komlosaurus carbonis*-nak elnevezett új dinosaurus ichnotaxon (életnyomra alapozott, kettős, a nemzetséget és fajtát jelölő latinosított nevezéktanú Linné-féle rendszertani egység) leírásában meghatározott diagnosztikai jellegzetessége: (1) a többi ismert alsó-jura lábnyomhoz viszonyítva a kis-közepes méret, (2) a háromujjúság (tridactyl), (3) a kétlábon járás (bipedalizmus), (4) a keskeny, ívelt és szimmetrikus ujjlenyomatok, és (5) a nyújtott, lekerekített talpnyom.

Az évek során tömegesen előkerülő lábnyomok között a *Komlosaurus*tól alapvetően eltérő nyomtípusok mellett olyanok is előkerültek, amelyeknél a jellegzetes tridactyl felépítés méretben, morfológiában, és ujjszámban átmeneti, vagy a kutatók elgondolása alapján végső esetben új típusoknak minősültek. Az igen eltérő méretű, és esetenként a három középső ujj mellett a talp lenyomatából kiinduló, hátrafelé mutató különböző hosszúságú szélső ujjpercek alapján a klasszikus lábnyomtípusok tanulmányozásakor egyre inkább felmerült a gyanú, hogy azok is a *Komlosaurus*-hoz tartoznak. Az elgondolást megerősítette a zoológiai nevezéktan egyik alaptétele, miszerint a faj típusául kijelölt példány jellegzetességei, karakterei meg kell, hogy egyezzenek a többi, ebbe a rendszertani egységbe sorolt példányokéval. A *Komlosaurus carbonis* típusának kijelölt, egy állattól származó jobb-bal oldali lábnyomnál a jobboldali három- a baloldali pedig kismértékben de egyértelműen ötujjú. A három- vagy ötujjúság nagymértékben függ a járófelszín minőségétől (nedvesség, közettani összetétel, a felszín dőlése, növényzettel való borítottsága). A *Komlosaurus*-lábnyomok jelentős méretkülönbségeit a hím és a nőstény egyedek eltérő nagysága, járásmódja, a jobb és a baloldali lábnyomok közötti minimális mértékű aszimmetria, s természetesen a fiatal és a kifejlett állatok eltérő mérete is okozhatta. Lehetséges, hogy a ritka, kisméretű és ötujjas nyomot a földre támaszkodó sárkánygyík csökevényes keze hagyta hátra. A *Komlosaurus* a valóságban ötujjas

(pentadactyl), funkcionálisan pedig általában háromujjú (tridactyl) volt, közöttük négy méretkategóriába tartozókat lehetett elkülöníteni.

- (1) Kisméretű tridactyl-pentadactyl (három-ötujjú) lábnyom, hosszúsága 95-100 mm. A harmadik ujj a leghosszabb, a szélső helyzetűek rövidebbek (II. a testfelőli, a IV. az oldalsó ujj). Az ujjak egyenes állásúak, végük kismértékben kihajló és a csúcs felé elkeskenyedő. A talp lenyomata rövid, hátulsó pereme lekerekített. Az ujjak között úszóhártyára emlékeztető lenyomat mutatható ki. Ritka forma. Lehetséges, hogy a *Komlosaurus* tenyér- és ujjnyomai.



2. ábra. A keskeny *Komlosaurus*-lábnyomon jól kirajzolódnak az ujjpercek (Fotó: Mészáros Ildikó)

- (2) Közepes méretű tridactyl nyom, a mecseki kőszénbányák területén a leggyakoribb, klasszikusan a *Komlosaurus carbonis*nak tekintett állat lábnyoma. A tenyérnyi méretű lábnyom hosszúsága 160-180 mm, három ujjlenyomata közül a középső, a III. számú a leghosszabb, a IV. rövidebb és a II. a legrövidebb. Az ujjnyomok keskenyek, az ujjpercek nyomai elkülönülnek. Az ujjak elülső vége kihajló (elhajló) és elkeskenyedő. A talp lenyomata hosszúka, pereme lekerekített, ritkaságként a bőr ragyás mintázata is fennmaradt. Az ujjak talphoz csatlakozó, a testhez közelebbi arányban található (proximális) lenyomata mély és éles peremű. Az ujjak közötti szög mértéke változó (30-45°), az ujjak között esetenként gyengén fejlett, úszóhártya-szerű benyomat



figyelhető meg. Két lábnyoma közötti távolsága 40 cm, az ugyanazon láb két egymást követő talpnyomata közötti távolsága (147-172 cm) a lépéshossz, a számított medencemagasság 40-45 cm. Mindezekből az adatokból a közepes méretű *Komlosaurus* mozgássebessége a mecseki iszapban 3,8-4,1 m/s lehetett. A mecseki dinoszauruszok a keményebb felzíneken gyorsabbak is lehettek.

(3) Nagyméretű tridactyl nyom. A *Komlosaurus carbonis* morfológiájával megegyező, de annak holo-típusánál jelentősen nagyobb tridactyl lábnyom (lábnyomának hossza 260-280 mm). Esetenként az ujjak megnyúltak, egymáshoz viszonyítva közel állnak, az ujjak közötti szög kicsi. A talpnyom változó méretű, de általában az ilyen ujjtípusú nyomhoz tartoznak a hátrafelé erősen megnyúlt talpnyomok, amelyek esetleg a lábközépcson-ti-résztől származnak. Két lábnyoma közötti távolsága 81-100 cm, a lépéshosszból számított medencemagasság 120-125 cm.

(4) Nagyméretű, széles tridactyl nyom. A mecseki dinoszaurusz-lábnyomok között a legnagyobb méretű tridactyl nyom. Az ujjlenyomatok keskenyek, hosszúak és íveltek. A lábnyom hosszúsága 250-290 mm. A szélső ujjak a középsőhöz viszonyítva széles szögben állnak. A nyom mélysége a többi mecseki tridactyl nyomhoz képest sekély. Az ujjbenyomatok között nincs úszóhártyára utaló lenyomat. A talpnyomat rövid és lekerekített.

A *Komlosaurus* lábnyomai egyvonalban, csapásokat alkotva egymáshoz közel helyezkednek el. Farkával csak időnként érintette a talajt, leginkább mérlegszerűen tarthatta, talán csordákba rendeződve galoppoztak. Kisméretű tenyerükben végződő megrövidült mellső végtagjaikra ritkán támaszkodtak. Mindezek alapján valószínűsíthető, hogy a *Komlosaurus* két hátsó lábán járó (biped), a hasonló mozgású nagytestűekhez viszonyítva kis-közepes termetű dinoszaurusz volt. Ezek a jura időszak legelején (180-200 millió évvel ezelőtt) élt dinoszauruszok kb. 2-3 méteres testhosszúságot érhetnek el. Alapvetően keskeny medencéjű, filigrán testfelépítésű, már-már madárszerű hátsó végtaggal rendelkező és azok segítségével mozgó állatok voltak.

### Mivel táplálkoztak?

Látszólag egyszerű, valójában nehezen megválaszolható ez a kérdés, miután a *Komlosaurus*nak csak az életnyomait ismerjük, fogait és rágóapparátusát nem. A *Komlosaurus* testalkata, mozgása olyan volt, mint a legkorábbi, kisméretű *Velociraptoroké*, vagy a jóval később élt nagytestű *Tyrannosaurusé*. Mindezek



3. ábra. Balra a *Komlosaurus* kisméretű kéz (?) és jobbra a nagyobb lábnyoma Vasason (Fotó: Kordos László)

alapján akár ragadozók is lehetnének. A ragadozóknak rendkívül erős, jól mozgatható és esetenként hatalmas karmokban végződő ujjperceik voltak. Mindezek a *Komlosaurus*ra nem jellemzőek, sőt inkább olyan madarakra emlékeztetnek, amelyek békésen csipegették táplálékukat, majd veszély esetén gyorsan és csoportosan menekültek. A mecseki lábnyomok között ismerünk olyanokat is, amelyek kis-közepes méretűek, három vagy négy rövid ujjuk karomban végződnek.

A Sauropodák jellegzetes, hatalmas testű, négy lábon mozgó, a magasabb növények lekopaszításával táplálékhoz jutó dinoszauruszok voltak. Ilyen állat

4. ábra. A Karolina-völgyi bánya egykori külfejtése a *Komlosaurus*-lábnyomok gazdag lelőhelye volt. (Fotó: Kordos László)



lábnyomát a mecseki kőszénmocsarakból nem ismerjük. A dinoszauruszok szélsőségesen húsevő, növényevő és mindenevő csoportjai között egyes számítások szerint 100 húsevőre vetítve 335 növényevő faj élt. A dinók fogai és rágásmechanizmusok elemzésénél kiderült, hogy több alkalmazkodási-leszármazási vonalban a húsevők elvesztették fogaikat és a madarakhoz hasonló fogatlan csőrök vették át feladatukat, kialakultak a „növényevő ragadozók”. Mindezek alapján lehetséges, hogy a *Komlosaurus* növényevő volt? Lehetséges, de mit evett? Talán a *Komlopteris*nek el-



5. ábra. A *Komlosaurus* egyik első, kicsit jámbor kinézetű műanyagszobrát a pécsi Misina-tető tornyában állították ki (Fotó: Mészáros Ildikó)

nevezett 5-6 méter magasságú, fatermetű, ecetfához hasonló, a mecseki kőszénrétegekben gyakori magvaspáfrányokkal táplálkozott. A mintegy 16 kőszénréteg közötti, a dinónyomokat is tartalmazó, mocsaras, lápos, tengeri delta jellegű síkvidéki márgás rétegekből, a szubtrópusi klímának és bőséges vízellátásnak köszönhetően dús növényzet maradványai kerültek elő. A legújabb vizsgálatok alapján a *Komlosaurus* nyomokban és közvetlen környezetükben zsurlók, páfrányok, magvaspáfrányok, bennetiteszek, szágópálmák, ősi ginkgo és mocsári fenyőfélék maradványai találhatók. Egyszerűen fogalmazva a *Komlosaurus* „térdig járt” növényi táplálékában, miközben a ragadozó és dögevő életmódot táplálékkal ellátó húsos állatok maradványait alig ismerjük.

## Tafonómia

A lábnyomok létrejötte és kövületé válása, valamint az újbóli megtalálásuk közötti folyamatot a tafonómiai vizsgálatok hivatottak felderíteni. A mecseki kőszénösszletben feltárt lábnyomok helyszíni kőzettani és őslénytani vizsgálatával lényeges új eredményeket lehetett kimutatni. Megállapítottuk, hogy a lábnyomok több rétegben, a szerves anyagokban gazdag finom agyagmárgában fordulnak elő. A nyomokat fedő üledékek jellege megegyezik a járőfelületével. A lábnyomos felszínek eredetileg vízszintesen ülepedtek le, majd azok a későbbi lemeztektónikai mozgásokkal kerültek mai meredek dőlésű helyzetükbe. Eközben a nyomok nem torzultak, különböző méreteik ugyanolyanok maradtak, mint 180-200 millió évvel ezelőtt voltak. A lábnyomos felszíneken nincsenek száradási nyomok, a talaj mindig nedves és képlékeny állapotú volt. A *Komlosaurus*-lábnyomok rendszerint éles peremmel 2-4 cm mélyen benyomódtak a még nem konszolidálódott agyagos iszapba. Az eddig megismert dinójárta területeken hiányoznak a kis vízerek vagy patakok átfolyásának nyomai, a partfelőli durvább törmelék behordása, miközben esetenként az enyhén hullámozó sekélyvízben kialakult hullámfodrokban is kimutathatók a *Komlosaurus*-lábnyomok.

A tafonómiai megfigyelések arra utalnak, hogy az állatok az egykori kőszénmocsarat szegélyező, enyhén nedves, agyagos, sík partszegélyen, s nem a korábbi elgondolásoknak megfelelően a sekély vízben hagyták hátra nyomaikat. Megmaradásukat az egymást követő üledékborítások segítették elő, majd a kőszénképződést előidéző mocsári-lápi időszakok a *Komlosaurus*ok mozgásának útját állták.

## Hasonló nyomok máshol

A 180-200 millió évvel ezelőtt, a jura időszak elején élt őshüllők lábnyomai viszonylag ritkák, annak ellenére, hogy ugyanebben az időszakban keletkeztek az egyesült államokbeli Connecticutban azok a lábnyomok, amelyekről az 1830-as években a dinólábnyom-kutatás megalapítója, Edward Hitchcock még az gondolta, hogy gigantikus méretű kihalt madarak lábnyomaira lelt. Észak-Amerikában és Európában is gyakoriak az igen változó méretű, háromujjú ragadozók ilyen emlékei. A leggyakoribb *Grallator* mellett még három más hüllőnyomot is kimutattak a franciaországi La Rochelle közelében fekvő Le Veillon lelőhelyről. Utóbbi annyira népszerű lett, hogy a média hatásának köszönhetően a látogatók és a vandálok cselekedetei miatt a lábnyomos felületek napjainkra megsemmisültek. Ugyancsak *Grallator* nyomokban gazdag lelőhely ismert a



Massif Central déli előterében is, ahol több, észak-amerikai lelettel azonos nyom azt bizonyítja, hogy a ma elkülönült kontinensek ebben az időszakban még összekapcsolódtak, miután ugyanazon állatfajok is éltek rajtuk. Hasonló nyomokat ismerünk Svédországban egy szénbánya alagútjának falában, valamint a lengyelországi Szent-Kereszt-hegységben is. A *Komlosaurus*hoz, valamint a nagyobb méretű, karcú ujjakat viselő állat nyomaihoz hasonlókat találtak a Marseille-től 40 km-re keletre fekvő Sanary sur Mer lelőhelyen. A jura időszak eleji, keskeny ujjlenyomatú, tridactyl, „madárszerű” dinoszaurusznyomok a Föld különböző pontján, így Grúziában, Marokkóban, Iránban, Kínában, Dél-Afrikában és Észak-Amerika több pontján kimutathatók, de valójában sehol sem tudják, hogy milyenek voltak az efféle lábnyomokat hátrahagyó őshüllők.

Legutóbb, e cikk szerzői 2018-ban Lisszabonban meglátogatták a Geológiai Múzeum régimódú kiállítását, ahol meglepődve látták, hogy a hatalmas *Megalosaurus* lábnyomokba mélyedve és körülötte jellegzetes háromujjú, a *Komlosaurus*ra kísértetiesen emlékeztető nyomok vannak. A *Megalosaurus* volt az első dinoszauruszmaradvány, amely alapján 1842-ben Sir Richard Owen a Dinosauria névvel önálló rendszertani egységet írt le, a dinoszauruszokat. A kiállításon bemutatott lábnyomos kőtömböket a luizitániai Pegadában, Pedra da Nau lelőhelyen 1884-ben gyűjtötték, azóta sokan vizsgálták, de a hatalmas lábnyomok elvonták a kutatók figyelmét a kisebb, sekélyebb nyomoktól, amelyekre csaknem másfél évszázadig

nem is gondoltak. Portugáliában a jura időszak elején tehát egymás mellett élt a *Megalosaurus* és a *Komlosaurus*ra emlékeztető dinoszaurusz.

### Egyéb, ritka típusok

A mecseki kőszénbányákból időnként különleges, korábban nem ismert méretű és formájú, gerinces állatoktól származtatható nyomok is előkerülnek.

Ezek között jellegzetes lekerekített körvonalú hosszirányban megnyúlt talpú (7 cm hosszú, 4 cm széles), négy jól elkülöníthető, karomban végződő, s a karmok előtt mélyedést képező, kis-közepes méretű ujjbenyomatokat



7. ábra. A lisszaboni földtani múzeumban kiállított hatalmas méretű *Megalosaurus* lábnyom és környezete korábban ismeretlen állatok nyomait őrizte meg  
(Fotó: Mészáros Ildikó és Kordos László)

6. ábra. Kígyókarú tengeri csillag karjának lenyomata  
(Fotó: Gál Miklós)



viselő nyomtípus. Valószínűleg macska méretű, négy lábon járó ragadozó hüllő lehetett. A vasasi bányából mélyebb, teljesebb, a Karolina-völgy egykori külfejtéséből pedig sekély nyomok ismertek.

Ritkán előfordul egy másik nyomtípus: a *Komlosaurus*-sal azonos méretű (15 cm hosszú, 13-14 cm széles), négy ívelt, aszimmetrikusan elkülönült ujjal rendelkező, karmokat viselő. A IV. ujj a leghosszabb és mérete az I. ujj felé rövidül, a szélső V. ujj a többitől oldalirányban elkülönült helyzetű. A talp hátulsó része erősen bemélyedt, lekerekített peremű. Mindezek a bélyegek a gyíkszerű, talponjáró (plantigrad) állatokra jellemzőek. A mecseki példány különösen a spanyolországi Astúriából kimutatott *Rhynchosauroides* faj lábnyomára hasonlít.

## A kígyókarú csillag és a Vasassaurus

Jahn Hornung kollégámat 2000-ben Düsseldorfban úgy tűnik, hogy igencsak lázba hozta a *Komlosaurus*. Megint megkeresett és váratlan, abszurd kérdést tett fel: lehetséges, hogy a *Komlosaurus* nem is dinó, hanem a tengeri kígyókarú csillag nyoma? Mert ezeknek a tüskésbőrűekhez tartozó állatoknak (Ophiuroidea) központi testéből, a „korongból” öt kígyószerű láb nyúlik ki. A vízfenékről elrugaszkodva akár félméteres ugrásokra is képes, és egymáshoz közeli, egy irányba mutató „lábnyomai” a talajfogástól függően a *Komlosaurushoz* hasonlóan öt-, vagy három „ujjú” nyomot hagynak maguk után. A képtelen ötlet valódiságáról a később megküldött szakirodalomban leírtak és ábrázoltak sem győztek meg, de a bogarat elültették a fülemben. 2014-ben fényképeket kaptam a legtöbb mecseki jura ősmaradványt összegyűjtő komlói Gál Miklóstól. Mintha az 1988-ban gyűjtött Karolina-bányai kőzetlapocskákat gumiabroncs mintázata díszítené. Szembesültünk az egykori mecseki sekélytenger kígyókarú csillagjának nyomával. A *Komlosaurus* a sekély tengerben lerakódott nedves-agyagos kőzeten járva hagyta hátra életnyomait. A kígyókarú csillagok maradványai rendkívül ritkák, Magyarországról mindössze néhány példányukat ismerjük, de közöttük ott van a szakirodalomban 1967-ban a mecseki kőszénterületről említett *Ophiderma escheri* faj is. Így megoldódott a kígyókarú csillag és a *Komlosaurus* rejtélye.

Kedves olvasó! Ismeri ön a vasasi dinoszauruszt, a Vasassaurust? Amennyiben nem, menjen el Vasasra, a Bányász Emlékparkba, mert ott áll a Vasassaurus Carbonis emlékműve. Amint arról többek között a „Vasas, Somogy és Hird közösségi lapja” beszámol, 2010. december 4-én Szent Borbála Napján nagyszabású megemlékezés közepette (Ima és áldás, országgyűlési képviselő, a Pécsi Bányászat-történeti Alapítvány vezetője, helyi civil szervezetek, népdalkör és fúvószenekar) avatták fel. A vasasiak büszkén emlékeztek arra, hogy a Mecsekben az első dinoszauruszlábnyomot 1966-ban Csörnyei Zoltán üzemi geológus találta meg a Vasas-bánya II. sz. külszíni fejtésében. Érdemtelen tehát, hogy a világhírűvé vált hazai dinót nem Vasassaurusnak nevezik. A biológiai nevezéktanban és ily módon az őslénytanban is a valóban újonnan felfedezett állatok első leírásában kinyomtatott nevét kell használni. Marad tehát a *Komlosaurus*, Vasas nevét pedig legközelebb egy onnan előkerült, a tudományra nézve eddig ismeretlen dinoszaurusz lábnyoma viseli majd.

## Mi lesz a lábnyomokkal?

A mecseki dinoszauruszok lábnyomait nem ismerünk, ha a területen nem lett volna több mint kétszáz évre visszatekintő kőszénbányászat. Amint az elmúlt 50 évben kiderült, az egykori működő bányákból folyamatosan és igen nagy számban kerültek elő a legkülönbözőbb őshüllők láb- és egyéb életnyomai. Ezeknek csak elenyésző töredékét sikerül a bányák munkatársainak, az amatőr gyűjtőknek és a múzeumi szakembereknek megmenteni, dokumentálni, a többi az enyészet martalékává vált. A begyűjtött leletek jelentős része a hazai és nemzetközi ásványbörzéken szakmai kontroll nélkül illegálisan továbbterjed. A bezárás előtt még működő bányákban a művelés módszere nem kedvezett a nagy rétegfelületeken felbukkanó lábnyomsorok előkerüléséhez. A pécsbányai külfejtést rekultiválták, a vasasi bányagödörben a kőzetrétegek még jól láthatók, az aknákból több szén- és dinó-lábnyomos meddőt azonban már nem hoznak felszínre. A tudományos kutatásra és az újabb leletek előkerülésére már nagyrészt csak a meddőhányók porladó kőzetei maradtak az utókorra.

KORDOS LÁSZLÓ – MÉSZÁROS ILDIKÓ

### IRODALOM:

- Avanzini M., L. Piñuela, J.C. Garcia-Ramos (2010): First report of a Late Jurassic lizard like footprint (Asturias, Spain).- *Journal of Iberian Geology*, 36(2): 175-180.
- Figueiredo S. (2014): Os Dinosaurios em território Português.- Chiada Editora, Lisboa
- Hips K., Józsa S., Nagy Á., Pataki Zs. (1988): Óshüllők nyomában. — *Természet Világa*, 120:109-111.
- Horváth D., Stromp M. (2012): Karolina-völgyi dinoszauruszok mozgássebessége.- *Fizikai Szemle*, 62: 116-118.
- Kordos L. (1983): Fontosabb szórványleletek a MÁFI gerinces-gyűjteményében (8. közlemény). *Dinosaurslábnyomok (Komlosaurus carbonis n. g. n. sp.) a mecseki liászból.*- Földtani Intézet Évi Jelentése az 1981. évről, p.503-511.
- Kordos L. (2000): Lower Jurassic Dinosaur Footprints from Hungary (Preliminary Report).- *First Symposium on European Dinosaurs*, Abstract, p. 15-16., Düsseldorf
- Kordos L. (2005): Óshüllők lábnyomai a Mecsekben.- In: Fazekas I. szerk. *A komlói térség természeti és kultúrtörténeti öröksége.*- Regiografo Bt. Komló
- Ősi A., Barbacka M., Szente I. (2005): Dino ősvény. Kora-jura dinoszaurusz lábnyomok a Mecsekből.- Hantken Kiadó, Budapest, p. 1-32.
- Ősi A., Pálffy J., Makádi L., Szentesi Z. (2011): Hettangian (Early Jurassic) Dinosaur Tracksites from the Mecsek Mountains, Hungary.- *Ichnos*, 18(2): 79-94.
- Tasnádi Kubacska A. (1970): Óriások birodalma.- Móra Ferenc Könyvkiadó, Budapest





AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS MELLÉKHATÁSA

# Tomboló tűzvihar

A nyári hónapok talán legpusztítóbb természeti katasztrófája az erdőtűz, amely többek között az Egyesült Államok délnyugati területeit sújtja. A térség lakóit évről évre egyre nagyobb veszély fenyegeti, ugyanis az éghajlatváltozás hatására átalakuló környezet mindinkább elősegíti a tüzek gyakoriságának és intenzitásának növekedését. Jelenleg a leghatékonyabb megoldást az előrejelzés jelenti, melyhez műholdas adatokat, és éghajlati modelleket használnak a kutatók, hogy minél jobb veszélyjelzést fejleszthessenek ki a tragédiák elkerülésére.

2018. november 8.-a száraz napnak ígérkezett a kaliforniai Butte megye életében. Az USA nyugati partvidékén fekvő állam a hatodik egymást követő évben tapasztalt meg rendkívüli mértékű aszályt. A rendkívül száraz nyár kiszárította a növényzetet, ősszel pedig az erős északkeleti szelek veszélyes helyzetet teremtettek, így bármely tervezett vagy spontán tűz könnyedén elszabadulhatott.

Persze a falra festett ördög most sem aludt. A kora hajnali órákban egy felsővezetékől kipattanó szikrát az erős szél felkapott, és pillanatok alatt pokollá változtatta a környéket. Az ún. Táborotűz (Camp Fire) azóta Kalifornia történetének egyik legpusztítóbb tüzesetének hírében áll, hozzávetőlegesen 600 km<sup>2</sup>-nyi területet felperzselve, közel 14 ezer épületet romba döntve, több milliárd dolláros kárt okozva, és 88 ember életét követelve. A nap folyamán később és másutt újabb lángok csaptak fel, ezúttal Los Angeles megyében. A Woosley névre keresztelt tűzvész közel 400 km<sup>2</sup>-en tombolt, három ember életét kioltva.

## Aggályos aszályok

A szárazság ideális körülményeket teremt az erdőtüzeknek: a csapadék hiánya és az alacsony páratartalom kiszárítja a növényzetet, „tápanyagként” szolgálva a pusztító katasztrófa számára. Ilyen körülmények között egy villámlásból, elektromos meghibásodásból, vagy emberi mulasztásból származó aprócska szikra is végzetes lehet.

Az éghajlatváltozás drámaian megváltoztatja bolygónk jelenleg ismert csapadék- és párolgásmintázatait, néhány területen nedvesebb, másutt szárazabb időjárást okozva.

Az egyre súlyosabb aszályokkal sújtott területek évről évre fokozott tűzveszélynek lesznek kitéve. Számos NASA-program gyűjt értékes adatokat, hogy segítsenek a kutatóknak és a mentőszolgálatoknak a szárazság okozta tüzek felügyeletében. Néhány eszköz a talajban lévő víz megfigyelésére összpontosít annak megítélése érdekében, hogy adott terület épp a kiszáradás felé tart-e, vagy sem. Mások a tűzből származó hő és füst után nyomoznak, mind a kutatást, mind a katasztrófa-helyzet kezelését elősegítve. A tűz száraz körülmények közötti viselkedésének megismerése pedig nagyban hozzájárulhat egy forróbb, szárazabb jövőre való hatékony felkészüléshez.

A Föld felmelegedésére vonatkozó előrejelzések szerint a globális csapadékmintázatok szélsőségesé válnak, azaz a nedves területek még nedvesebbé, a szárazak még szárazabbá válnak. Az olyan régióknak, mint Észak-Amerika délnyugati része, a nagyfokú hőség hatására mind a csökkenő csapadékmennyiséggel, mind a talajnedvesség párolgásának fokozódásával számolniuk kell.

Észak-Amerika a mostanihoz hasonló, hosszú ideig elhúzódó szárazságot már az 1100-as és 1300-as évek között is megtapasztalt. *Ben Cook*, a New Yorkban található NASA Goddard Űrtudományi Intézetének (GISS) munkatársa is ilyen, ún. „mega aszályok” után nyomoz. A kutatócsoport fák évgyűrűiből származó információkat használtak, hogy ezeket a száraz időszakokat összehasonlítsák az előrejelzésekkel. A szakemberek 17 különböző éghajlati forráskönyvből nyert talajnedvességi, és a szárazság

intenzitására vonatkozó adatokat vizsgáltak, melyek mind azt vetítették előre, hogy ha az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása a jelenlegi ütemben folytatódik, Észak-Amerika délnyugati területein a megaaszályok kockázata az évszázad végére mintegy 80%-kal megemelkedhet. Ráadásul ezek a szárazságok az elmúlt évezreddel összehasonlítva minden bizonnyal súlyosabb formában jelentkeznek majd. Az aszályok így továbbra is szárítják a tüzeket tápláló növényzetet.

*„A tűz két dologtól függ: elegendő éghető anyag, és lehetőleg csontszáraz, hogy egy apró szikra könnyedén belobbant hassa. Rövid távon minél több száraz időszak köszönt be, annál több kiszáradt növény, és így tűz keletkezik. Ha ezek az aszályok viszont hosszabb ideig folytatódnak, mint amiket mi is vizsgálunk, az tulajdonképpen idővel kevesebb tüzet jelent, mivel a vegetáció nem nő vissza erőteljesen, így elfogy az utánpótlás.”* — mondta Cook.

A szakember és ugyancsak az Űrtudományi Intézetben dolgozó kollégája, *Kate Marvel* elsőként szolgáltatott bizonyítékot arra, hogy az ember okozta üvegházgáz-kibocsátás már az 1900-as évek elején hatást gyakorolt az aszályok mintázataira. Azáltal, hogy bebizonyosodott, hogy az emberi tevékenységek már régóta hatással vannak az aszályokra, a kutatásuk arra is bizonyítékkal szolgál, hogy a humán eredetű üvegházgázok kibocsátása által felfokozott éghajlatváltozás valószínűleg a jövőben is hasonlóan befolyásolja majd a száraz időszakokat.

## Tűzvonalban

Ha a jövő megaaszályokat tartogat az Egyesült Államok délnyugati részének lakói számára, mit jelent ez a teljes tűzszezonra nézve? *„Miután némiképp módosul az éghajlat, bizonyos területeken egyre szárazabb tüzelőanyagokat kapunk, így ott hevesebb tüzekre, és fokozottabb tűzveszélyre kell számítanunk”* — mondta *Adam Kochanski*, a Utah Egyetem légkörkutatója a tüzek méretére és hatására vonatkozóan. Ha az „üzemanyag” nedves, a tűz valószínűleg közelebb marad a talajhoz és kevésbé lesz romboló hatású. A száraz fák és egyéb növények nagyobb valószínűséggel teszik lehetővé, hogy a lángok elérjék az erdei lombkoronát, ami a tüzet még pusztítóbbá és fékezhetetlenebbé teszi.

Kochanski és *Jan Mandel*, a denveri Colorado Egyetem munkatársa a NASA-tól, és más forrásokból származó adatokat használtak, hogy szimulálják az erdőtüzek, a talajnedvesség és a helyi időjárás közötti kölcsönhatásokat. Részben a Nemzeti Légkörkutató Központ (NCAR) korábbi munkáira alapozva kifejlesztettek egy SFIRE névre keresztelt modult a széles körben elterjedt Időjárás-kutatási és Előrejelzési (WRF) modellhez. A modul a NASA Aqua és Terra műholdjaira szerelt közepes felbontású képalkotó spektrométer (MODIS), valamint a Suomi NPP műholdra szerelt látható és infravörös képalkotó radiométer (VIIRS) berendezés adataiból dolgozik.

Az időjárás nyilvánvalóan befolyásolja a tüzeket, viszont a tüzek is befolyásolják a helyi időjárást hő, vízgőz, és füst előállításának révén. A nagy tüzek keltette szél megváltoztatja a helyi időjárási mintákat, és szélsőséges körülmények között tűzviharokat, illetve tűztornádókat

1. ábra. A Tábortűz (Camp Fire) névre keresztelt tűzvész a Landsat 8 felvételén (Forrás: NASA)







2. ábra. A műholdképen látható, barna színű területek a Woolsey-tűz pusztítását jelzik (Forrás: NASA)

hozhat létre. Nem ritka, hogy az erdőtüzeket átélt emberek arról számoltak be, hogy bár a szél nem túl erős, a tűz nagyon gyorsan terjed. Ha nincs akkora szél, de intenzív a tűz, és rendkívül nagy hőt bocsát ki, akkor megvan az esély arra, hogy saját szélhatást hozzon létre, és ezáltal terjedjen. E kölcsönhatások jobb modellezése nem csak a tűzoltók számára jelezheti előre pontosabban, hol és hogyan terjedhet a tűz, de segít az erdőgazdálkodóknak is, hogy az adott területre tervezett égetés biztonságos-e.

### Tűz és hó dala

„A víz rendelkezésre állása vagy hiánya fontos szerepet játszik a vegetáció visszanyerésében. A száraz körülmények ugyanis megakadályozhatják az új magok kicsírázását a leégett területeken. A növényzet elvesztése erózióhoz vezet, az üledék pedig akadályozhatja a víz szabad lefolyását, így a különféle tűzoltásra használt vegyszerek felhalmozódhatnak. A tüzek emellett hatással lehetnek a jövőbeli téli hótakaróra is” — mondta Kelly Gleason, a Portlandi Állami Egyetem hidrológus adjunktusa. A hótakaró ez esetben nem az egyetlen hóesés alatt, hanem a teljes téli időszak során hullott csapadékot jelenti.

Itt is kulcsfontosságúak a NASA adatai az érintett folyamatok megértéséhez. Gleason és csapata a MODIS eszköz által gyűjtött 16 évnyi információt használta fel ahhoz, hogy megvizsgálja a tüzek hatását az észak-amerikai erdők hóolvadási jellemzőire. Felismerték, hogy a tűzből származó korom és törmelék következtében a hó a tűz után még legalább 15 évig elszíneződik, ami csökkenti annak fényvisszaverő képességét. „Ez olyan hatással bír, mintha napsütéses időben fekete pólót viselnénk”

— mondta Gleason. „A hóréteg is több napfényt nyel el, ráadásul a felperzselődött lombkorona még több beeső energiát eredményez.”

Egy 2000 és 2016 közötti időtartamot vizsgáló, nagyjából 850 tüzesetet magába foglaló felmérés azt mutatja, hogy a leégett erdőkben a hó átlagosan öt nappal korábban olvad el az érintetlen területekhez képest. Egyes helyeken az olvadás a szokásosnál hetekkel, vagy hónapokkal korábban kezdődik. „Minden évben korábbi hóolvadást tapasztaltunk, mely erősen kapcsolatban áll a rákövetkező nyár hatalmas és hosszan tartó erdőtüzeivel. Ez olyan ördögi kört hoz létre, melyben az éghajlatváltozás következtében a hó hamar elolvad, ez kiterjeszti a nyári aszályos időszakot, mely következtében a talaj kiszárad, és amikor a növényzet is kiszárad, akkor keletkeznek a nagy



3. ábra. Műholdfelvétel a két eltérő helyszínen felcsapó lángok füstjének terjedéséről (Forrás: NASA)

tüzek. Ez tovább fokozza a hóolvadást, még tovább növelve a szárazságok hosszát, valamint a tűz potenciálját, és így tovább...” — magyarázta a szakember.

A NASA kutatói is folyamatosan megfigyelik a vízkészleteket és a tüzeket, földön, vízen és levegőben egyaránt, rövid és hosszú távú adatokat gyűjtve, a Föld éghajlati rendszerének folyamatos változásait is figyelembe véve. Az olyan programok, mint a NASA természeti katasztrófákkal foglalkozó projektje műholdas adatokat használ az aktív tüzek nyomon követésére, megfigyeli azok levegőminőségre gyakorolt hatásait, emellett olyan kutatások elvégzését teszi lehetővé, mely segíti a közösségeket a katasztrófát megelőző jóval hatékonyabb felkészülésben.

SZOUCEK ADÁM

## A NAGY FOLYÓK KÉTHARMADA SZABÁLYOZOTT A VILÁGON

# nature

A folyók szabad folyását számos okból szabályozzuk, például erőművet építünk, árvízvédelmi lépéseket teszünk, hajózhatóvá változtatjuk a korábban rakoncátlan vizet. Ami az egyik oldalon hasznos, az a másikon viszont igen káros: mind a folyók, mind a környezetük ökoszisztémája megsínyli a szabályozást. Egy nagy nemzetközi kutatócsoport azt mérte fel, hogy vajon mennyi még a világon az érintetlen folyású, ezer kilométernél hosszabb folyó.

A szabad folyású folyók esetében négyféle kapcsolatrendszer áll fenn: hosszirányú a forrástól a torkolatig, oldalirányú a betorkolló kisebb vizek, az árterek és a partjaik formájában, függőleges irányú a víz és a légkör közti folyamatokban, illetve időbeli a folyók vízének szezonális, időszakos változásaiban. A folyók által biztosított természetes életfeltételek rendszerébe mindegyik beletartozik, s az ember mindegyiket képes befolyásolni. A korábbi meghatározások szerint szabad folyásúnak csak azokat minősítették, amelyeken a hosszirányú kapcsolat zavartalan volt, vagyis például nem voltak rajta gátak, zsilipek, azonban a kapcsolatrendszer összetettsége miatt ez a meghatározás nem állja meg a helyét. A kutatók a 4,2 kilométernél hosszabb folyóvíz szakaszok felmérését végezték most el, s számba vették mindazokat a módosító tényezőket, amelyek a négy dimenziós kapcsolatrendszer valamelyik tagját megváltoztatják. Minden egyes dimenzióra kiszámították, hogy hány százalékban sértetlen az adott irányú kapcsolatrendszer, s az adatokat folyónként összesítették.

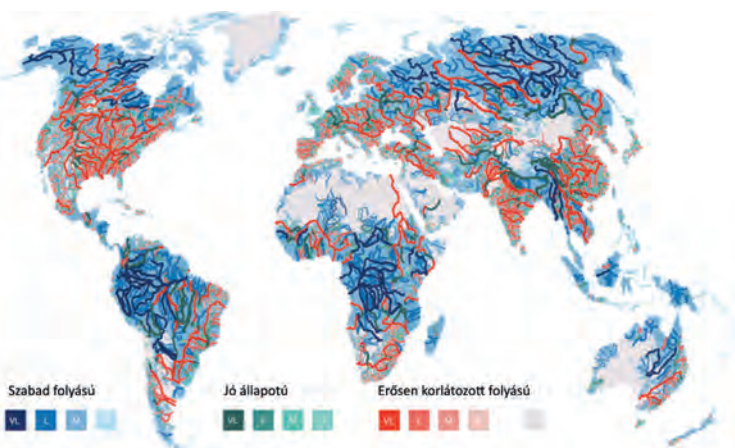
A világ folyóinak fele esetén valamilyen beavatkozás történt már az adott folyón, 1,1 millió kilométernyi folyószakaszon ez a beavatkozások hatására a vízfolyás 95 százalékánál kisebb a szabad folyású részek aránya, ez igen jelentős módosítás! Azok a nagy folyók, amelyek mind a négy kapcsolati dimenziójuk szerint érintetlenül folyhatnak az emberlakta területektől távol vannak, legnagyobb részben az északi sarkvidék közelében, az Amazonas medencéjében, illetve egy kevés a Kongó-medencében is akad még.

Az ezer kilométernél hosszabb folyók 63 százaléka zavart folyású, de az ötszáz kilométernél hosszabb érintetlen folyók szinte teljesen hiányoznak az emberek által sűrűn lakott területekről minden kontinensen. A trendek azt mutatják, hogy minél kisebb egy folyó, annál nagyobb a még szabad folyás aránya, vagyis a nagy folyókon történtek a nagy változtatások is. Azonban igen valószínű, hogy a kisebb folyókon történt beavatkozásokról nincs megfelelő adatbázis, így könnyen lehet, hogy azoknál sem olyan érintetlen a helyzet.

Miért is fontos a folyók zavartalansága? Minden olyan ökoszisztéma-szolgáltatás, amelyet a folyók nyújtanak, a szabályozottsággal együtt jelentősen csökken. Ebbe beleértendő a folyók által fenntartott területek élővilágának sokszínűsége is, illetve az is, hogy a folyó mentén élők mennyi halhoz juthatnak hozzá a vízből. Délkelet-Ázsia mindössze két „vad” folyóval bír, a Salween és az Irrawady jelenleg évente több mint 1,2 millió tonna halat ad a partok lakóinak, s a 30 millió főt eltartó árterületeiken kiterjedt mezőgazdálkodás folyhat a szabályozatlanságuknak köszönhetően. Azonban kérdés, meddig maradhat így: számos gátat terveznek például a Salween vízére, kiterjedt tiltakozásokat váltva ki a folyó menti lakosság körében.

A klímaváltozás további terhetek rak majd a folyókra, s csak a szabad folyásúak azok, amelyek segíthetnek a változásokat túlélni. A klíma elől vándorló élőlények egy szabályozott folyón nem tudnak elmenni az ellehetetlenült életkörülmények elől kedvezőbb területre, így a továbbiakban a folyókon végzendő munkálatokban ezeket a tényezőket is figyelembe kell venni. A kutatók által készített modellek segítségével felmérhető, hogy egy-egy gát elhelyezése hol okozza a legkisebb negatív hatásokat, s az építés során figyelembe kell venni azt, hogy a folyó kapcsolatrendszereiben a lehető legkisebb sérülést okozza a beavatkozás.

(Nature, 2019. május)





## AMERIKA MEGHÓDÍTÁSA IS HOZZÁJÁRULT A KIS JÉGKORSZAK LEHŰLÉSÉHEZ



**QUATERNARY  
SCIENCE REVIEWS**

*The International Multidisciplinary Research and Review Journal*

Amikor az első európai hódítók megérkeztek Amerikába, az északi és a déli kontinensen kb. 60 millió lakosságot találtak. Alig száz év leforgása alatt ez a népesség mindössze a tizedére zuhant, köszönhetően az európaiak által behurcolt betegségeknek és a tudatos népirtásnak. A kontinens őslakói ezt a Nagy Halál korának nevezik. Egy nemrégiben közzé tett angol kutatás szerint a hatalmas arányú, példa nélkül álló népességcsökkenés hozzájárulhatott az Európában kis jégkorszak néven ismert, XIII-XIX. század közti hideg periódushoz. Maga az ötlet már felmerült korábban, azonban most átfogó, Amerika népességére, földhasználatra, tüzekre, illetve a növényzet által megkötött szén-dioxid mennyiségére vonatkozó összegzett számításokkal is alá tudták támasztani. A népesség zuhanását követően nagyjából 56 millió hektár, korábban megművelt földterületet hódított vissza a természet, s a kutatók számításai szerint ez a légkörből 3,5 ppm szén-dioxid mennyiséget vont ki (ppm: az egész rész milliomod része). A kis jégkorszak során volt 7-10 ppm csökkenésen belül ez jelentős hányad!

Az amerikai kontinensek földművesei a használt területeikhez égetéssel jutottak hozzá, erről pedig tudjuk, hogy egyrészt jelentős légszennyezéssel jár, másrészt az így nyert területeket néhány évente meg kellett újítani, vagyis a mezőgazdálkodás folyamatos égetésekkel járt. Az európai hódítást követően hatalmasat zuhant az égetések nyoma, aránya, ez a népesség zuhanását jól tükrözi. Más egy füves terület és más egy trópusi esőerdő vagy keményfa-erdő felégetéséből eredő szén-dioxid hozzájárulása a légköri szinthez. E részletek feltárással valószínűleg a számított 3,5 ppm-nél nagyobb csökkenést kapnának. A kontinenseket a kutatók hét földrajzi régióra osztották: Karib-térség, Mexikó, Közép-Amerika nem mexikói része, Amazónia és a környező erdős régiók, az Inka birodalom, Észak-Amerika, illetve az ezekbe nem tartozó területek.

A számításaikhoz több mint száz korábbi tanulmány adatait használták fel az angol kutatók, ezek alapján készítették el a prekolumbián népesség egészére, majd a hódítás utáni időszak népességfogyására vonatkozó becsléseiket Észak- és Dél-Amerika nagy régióira. A korabeli mezőgazdálkodás nyomaira mind a régészeti adatok, mind a történelmi források, mind pedig távérzékelési technikával kinyert infor-

mációk alapján jutottak, ezeket szintén régióként számították ki. Az egy főre jutó megművelt földterület változásait a népesség fogyasztáshoz arányosítva számították, s az így a természet által visszahódított területekre ki lehetett kalkulálni azt, hogy mennyivel csökkent a szén-dioxid kibocsátás, vagyis, hogy mennyivel nőtt a megkötés a természetes növényzet visszatelepülésével. Mivel az ilyen másodlagos „erdősülés” nem azonos minőségű az elsődleges, korábban kiirtott erdőkével, a számításokhoz a másodlagos növénytakaró kialakulásának CO<sub>2</sub> adatait használták fel. Az egyes területekre vonatkozó botanikai adatokat az üledékekben talált pollen alapján lehetett rekonstruálni, így a földhasználat és a természetes növényzet változásai e módon is követhetőek. Az égetéses földművelés elterjedtségét hatalmas mennyiségű adat



bizonyítja, a tüzek nyomai jól mérhetőek, így ezt az adatsort is hasznosítani lehetett a tanulmányban. A változások nyomán a népesség zuhanását követően a növényzet által megkötött többlet szén mennyiségét 7,4 milliárd tonnára becsülik, ez a légkörből 3,5 ppm szén-dioxid kivonását jelenti néhány évtized leforgása alatt. A jégfuratok szén-dioxid szint adatai alapján 1520 körül kezdett kis mértékben csökkenni az üvegházgáz mennyisége, 1570 körül vált igazán jelentőssé a csökkenése, a legalacsonyabb értéket 1610 körül vette fel, majd 1650-ig csekély emelkedés következett, amelyet aztán az ipari forradalom kezdetének idejéig állandó szint jellemzett. A csökkenés mértékéhez az amerikai Nagy Halál 35-50 százalékbán járult hozzá, az emberi tevékenység jelentősen befolyásolta tehát az egész bolygót már 1610-ben, így az antropocén korszak kezdetét is lehet e dátumhoz kötni.

*(Quaternary Science Reviews, 2019. március)*

## A MESTERSÉGES ZÁTONYOK SEGÍTIK A TRÓPUSI HALAK TERJESZKEDÉSÉT



A trópusokon számos halfaj életmódja kötődik a zátonyokhoz, a terjeszkedésüknek a megfelelő típusú élőhely hiánya szab határt. Ha a melegebb trópusoktól távolabbi óceánok megfelelő környezeti feltételeket is biztosítanak, amennyiben nincs megfelelő zátony, nem tudnak nagyobb területen elterjedni e menekülő fajok.

Elméletben várható, hogy a térbeli elterjedést segíthetik a mesterséges zátonynak tekinthető objektumok, így az elsüllyedt hajók maradványai. Az elméletre azonban konkrét bizonyíték nem volt még. Az amerikai Duke Egyetem kutatói nemrégiben találtak, mégpedig az USA Észak-Karolina állama partjai közelében. Az jól ismert, hogy a tengeri élővilág hamar meghódítja az elsüllyedt roncsokat s akár néhány év



alatt is belakják ezeket, a sok évtizede elsüllyedt hajók roncsai közt számtalan ma már csak műszerekkel felismerhető, olyannyira beborította az élővilág.

A tengerekbe persze nemcsak roncsok kerülnek, hanem számos építmény is, s ezek száma az úgynevezett tengeri urbanizáció révén egyre nő. Amellett, hogy a mesterséges építmények (például vízbe épített szélerőműfarm) esetleges negatív hatásait sem feledjük el, elhelyezhetjük őket úgy is, hogy azzal az élővilágnak segítünk. Mesterséges zátonyokat azzal a céllal is tesznek ki a tengerbe, hogy a segítségükkel

növeljék a halászssákmányt, vagy épp élőhelyet biztosítsanak az állatoknak. Az USA keleti partvidékén e céllal egy mesterséges zátonyépítő program keretében számos leszerelt hajó maradványait is módszeresen elsüllyeszti.

A kutatók 14 mesterséges és 16 természetes zátonyon végeztek felmérést az ott előforduló halak fajgazdagságát és egyedszámát illetően, 3 éven át, évente több alkalommal is búvárok merültek e zátonyokhoz. Feljegyezték, milyen faj hol fordul elő, s meg is számlálták az állatokat. Azt figyelték meg az észak-karolinai partok mentén, hogy a trópusok felől egyre nagyobb számban érkező halak a természetes zátonyokkal szemben előnyben részesítik a mesterséges tárgyakat a víz alatt, ha a zátony 25 méternél mélyebben vízben áll. E terület a jelenlegi elterjedési határát jelenti számos trópusi és szubtrópusi halnak, korábban nem észlelt fajok is feltűntek a mostani felmérés során. E határterületek azok a régiók, ahol a túlmelegedő víz elől menekülő halfajok terjedését mesterséges zátonyokkal segíteni lehet.

A trópusi halak a 25 méternél mélyebben elhelyezett mesterséges zátonyokon voltak jelen nagyobb számban és fajgazdagságban, a 25 méternél sekélyebbekben hasonló arányú volt a korábban már honos fajok és a most érkező trópusiak mennyisége. A szubtrópusi halak esetében ugyanilyen eltéréseket tapasztaltak, azzal kiegészítve, hogy e fajok még a mesterséges zátonyok komplexitásával arányosan is pozitív összefüggésben fordultak elő. A fajgazdagság tekintetében nem voltak különbségek a mesterséges és a természetes zátonyok közt.

Összefüggés volt a halak táplálkozása és az élőhely mélysége közt is, a planktonvók és a halevők kedvelték jobban a mélyebben elhelyezkedő zátonyokat, itt is a trópusiak a mesterséges, az eredetileg honos halak a természetes zátonyt részesítették előnyben. Nem világos, hogy miért vonzódnak jobban a trópusi és szubtrópusi halak a mesterséges tárgyakhoz, mint a természetes sziklákhöz, elképzelhető, hogy több menedéket nyújtanak a roncsokon vagy az építményeken lévő zugok, mint a sziklák, de az is lehet, hogy a táplálékuk is eleve az ember által hagyott tárgyakat kedveli jobban. A kutatók további vizsgálatokkal szeretnék a pontos okot kideríteni majd.

Azt a következtetést a felmérések alapján azonban bátran levonhatták, hogy a megfelelő helyszínekre elhelyezett mesterséges zátonyokkal segíthetjük a túlmelegedő tengerekből kiszorult halak terjeszkedését a kevésbé meleg vizek felé.

(*Nature Communications Biology*, 2019. május)



## MEGTALÁLTÁK A NAGY FEHÉR CÁPA ŐSÉT

A nagy fehér cápa egyedülálló fogszerkezete segített közelebb jutni az evolúciós vonal legkorábbi tagjához. A heringcápa alakúak (Lamniformes) közé tartozik néhány jól ismert cápa, például a világ leggyorsabb cápájának tartott makócápa, a hírhedt nagy fehér cápa és a legnagyobb ragadozók közé tartozó *Megalodon*. A Bécsi Egyetem paleontológusa által vezetett nemzetközi kutatócsoport olyan egyedülálló tulajdonságot fedezett fel ezeknek a csúcsragadozóknak a fogaiban, ami lehetővé tette, hogy nyomon kövessék a csoport kialakulását, egészen egy középső-jura (165 millió éves) kisméretű bentosz cápáig. A cápafogaknál a fogakat felépítő dentint kívülről fogzománc-szerű kemény réteg védi. A dentinnek két fajtája ismert: az emberi foghoz hasonló tömör ortodentin a cápafogak koronájára korlátozódik, míg a szivacsos, csontozóhoz hasonló oszteodentin a fogat az állkapocshoz rögzítő foggyökérben található. Nagyfelbontású komputertomográf használatával megvizsgálták a nagy fehér cápának és rokonainak a fogát

és meglepődve tapasztalták, hogy a fogkoronájukban is oszteodentin található, ami egyedülálló a cápák között. A kutatók megvizsgálták a *Palaeocarcharias stromeri* fajnak a dél-németországi híres Solnhofen lelőhelyen talált teljes maradványát is. Ez egy kisméretű, maximum 1 méteres hosszúságot elérő lomha állat volt, ami kis halakra vadászott a sekély tengerekben. A testalkata a dajkacápákra, a fogazata viszont a makócápákéra emlékeztet. A vizsgálat kimutatta, hogy ennek is csak osteodentin található a fogában. A kutatók szerint ez erős bizonyíték arra, hogy a *Palaeocarcharias* a jelenleg ismert legkorábbi tagja a *Megalodon*-t és a fehér cápát is magába foglaló evolúciós vonalnak.

(*Scientific Reports*,  
2019. július 8.)



## KEVÉS OSTORFÉREGTŐL SZENVEDTEK ÇATALHÖYÜK EGYKORI LAKÓI

Çatalhöyük újkökori anatóliai település, lakói átmenetet képviselnek a még vadászó-gyűjtögető és a már mezőgazdálkodást folytató korszakok népességében. A letelepült életmód és a sokak együtt élése plusz lendületet adott egyes kórokozók terjedésének, Çatalhöyük pedig ideális a folyamatba tekintésre. Az i.e. 7100-6150 közötti korból maradt rétegeket paleoparazitológiai vizsgálatoknak vetették alá, részint a kismencedei talajt, ám a szakértőknek sok ezer éves koprolitot, azaz megkövült emberi ürüléket is át kellett vizsgálniuk az eredményért. A mikroszkópos vizsgálatok a koprolit mintákból két esetben számos ostorféreg petét mutattak ki, a kismencedei talajokból nem sikerült elkülöníteni semmilyen belső élősködő nyomát. Habár a petéket e maradványok alapján nem lehetett



fajba sorolni, az, hogy emberi fertőzésből kerültek a koprolitba, az emberi ostorféreg, a *Trichuris trichiura* fajt valószínűsíti. Ezt még az emberelődök hozták magukkal Afrikából kirajzásuk során, a jelenléte ahhoz köthető, hogy az ürített peték valamilyen módon egy másik ember emésztőrendszerébe kerüljenek, a legtöbbször például fertőzött víz vagy élelmiszer segítségével.

Az ostorféreg fertőzésnek, ha nagy mennyiségű a férgek szám, súlyos tünetei lehetnek, s főként kisgyerekeknél több olyan fejlődési elváltozást is okozhatnak, amelyeknek nyoma van a csontmaradványokon is. A Çatalhöyük-i gyermeki maradványok közt, főleg csecsemőknél, egyetlen ilyen elváltozást láttak, ám az pont más okokból (vashiány) is bőven előfordulhatott, az itteni gyerekek alapvetően jó egészségi és tápláltsági állapotban voltak.

Állati köztigazdás parazita nyomát nem találták meg, de nem is biztos, hogy túléltek volna a 8000 évet a talajban a petéik. Azonban a csekély számú minta is okozhat fals negatív eredményt, így a jövő paleoparazitológusainak is akadhat még felfedezni való az anatóliai település maradványaiban.

(*Antiquity*, 2019. május 31.)

## VEGÁN KROKODILOK A FÖLDTÖRTÉNETI MÚLTBÓL

A mai krokodilok életmódjukat tekintve kivétel nélkül mind ragadozók, egyszerű kúpos fogakkal. A csoport már a földtörténeti középkorban (mezozoikum) is nagyon elterjedt lehetett a világszerte előkerülő különböző leletek alapján. Ráadásul akkoriban jóval változatosabb volt a krokodilok megjelenése és életmódja is. A Utah Egyetem kutatójának irányításával végrehajtott projekt során 16 különböző fosszilis faj csaknem 150 fogát vizsgálták meg részletesen. Beszkennelték és háromdimenziós nyomtatókkal elkészítették a másolataikat, így a sérülés veszélye nélkül tanulmányozhatták őket. Kiderült, hogy a fosszilis fajok fogai sokkal bonyolultabb felépítésűek, és a krokodilok között nem csak mindenevők, hanem kizárólag növényi táplálékot fogyasztó fajok is előfordultak. A növényevő életmód egymástól függetlenül legalább háromszor (de valószínűleg többször is) megjelent a krokodilok mezozoós evolúciója során. A mellékelt illusztráción különböző táplálkozást folytató kihalt krokodilok koponyájának a rekonstrukciója látható a jelentősen eltérő fogazattal: a ragadozó *Notosuchus*, a mindenevő *Armillosuchus*, valamint két növényevő, a *Chimaerasuchus* és a *Pakasuchus*. Ezek a növényevő és mindenevő krokodilok mintegy 135 millió éven át fordultak elő a Földön, a kréta-végi nagy kihalás óta viszont kizárólag húsevő fajok kerültek elő.

(*Current Biology*, 2019. június 27.)

*Notosuchus*  
Extinct Carnivore



*Armillosuchus*  
Extinct Omnivore



*Chimaerasuchus*  
Extinct Herbivore



*Pakasuchus*  
Extinct Herbivore



## MEDDIG TERJED A TEJÚTRENDSEZER?

A 8,2 méteres Subaru óriásteleszkóp segítségével egy japán kutatócsoport beazonosította, meddig terjed a Tejútrendszerünk határa. A legkülsőbb régióban olyan ősi csillagok vannak, amelyek kora 12 milliárd év, s az általuk bejárt térrész a Tejútrendszer kialakulásának megértésében nyújt segítséget.

Mivel a galaxison belül élünk, így különösen nehéz megállapítani, meddig terjed a határa. A japán kutatók trükkös megoldáshoz folyamodtak. A Subaru teleszkóp HSC (Hyper Suprime Cam) digitális kamerával készített



felvételein, az óriástávcső kiterjedt égboltfelmérésének adatai közül az ún. kék horizontális ág (BHB) csillagait válogatták le a további hasonló objektumok közül, mint például a kék csellengő csillagok vagy a fehér törpék, illetve távoli galaxisok és kvazárok. A korábbi felmérésekhez képest most finomítottak a BHB csillagok kiszűrésének módszerén, így megbízhatóbb adatokat kaptak a kutatók. Azt tapasztalták, hogy a csillagok sűrűsége a Tejútrendszer középpontjától 520 000 fényév távolságban hirtelen lezuhan – vagyis itt találták meg a galaxisunk külső határterületét, ez hússzor nagyobb, mint a galaxis középpontja és Naprendszerünk közti távolság.

Úgy 12 milliárd éve számos kisebb galaxissal olvadt egybe a Tejútrendszer, s ezek nyomát a galaxisunk halója viseli magán. Ezek az összeolvadások minden egyes galaxisnál eltérnek, így a saját halónk méretének és anyageloszlásának meghatározásával tudunk csak visszakövetkeztetni az egykori eseményekre. Az Androméda-galaxisról például látjuk, hogy legalább 538 000 fényév sugarú a halója, vagyis nagyobb, mint a Tejútrendszeré. A kutatók a mostani felmérésben 550 négyzetfok égitérületet vizsgáltak át, de céljaik közt szerepel egy jóval nagyobb, 1400 négyzetfokos terület felmérése is, s ebből a most kinyert eredmények is tovább pontosíthatóak lesznek.

(*Publications of the Astronomical Society of Japan*, 2019. június 13.)



# Fejedelmi nagyvadunk, a gímszarvas

„Nincs szebb erdő az ezüst törzsű, szeptemberi bükkösnél  
és nincs szebb vad a benne orgonázó magyar szarvasbikánál.”  
(gróf Széchenyi Zsigmond)

Hazánk természeti adottságai a legtöbb nagyvad, köztük a gímszarvas számára is kiváló élőhelyet biztosítanak, gímszarvasállományunk világhírű. Általános iskolás korunkban természetjáró szakkörösként minden tanévben természetjáró túrákon vettünk részt lakóhelyünk környékén. Egy alkalommal Kaszóba mentünk szarvasbőgést hallgatni, egy másik alkalommal pedig Bőszénfára, majd az iharosi vadfarmra látogattunk, ahol láthattuk és etethettük is az ott élő szarvasokat. E kirándulások adták az ötletet cikkünk elkészítéséhez.

Hazánkban a gímszarvas vagy szabad területen, vagy zárttéri rendszerekben él. A Dunántúlon, az Északi-középhegységben és a Nyírség ÉK-i részén fordul elő leginkább. A legjobb állomány a Dél-Dunántúlon található, ahol a Kaszó Erdőgazdaság Zrt. is gazdálkodik.

Kutatómunkánkban bemutatjuk a gímszarvast, annak vadászati értékét és a zárttéri szarvastartás típusait. Beszámolunk a Bőszénfán tett kirándulásunkról és ismertetjük a kaszói gímszarvasállomány változását az 1970-es évektől napjainkig. Az erdőgazdaság területét ugyanis 1979-1989-ig körbekerítették és egy zárt vadaskertet hoztak létre. A létszám- és trófeaadatok jól mutatják, hogy a bekerítés miképpen hatott az ott élő gímszarvasállományra.

Kutatómunkánk során szakirodalmat tanulmányoztunk, interjút készítettünk, adatokat gyűjtöttünk és elemeztük. A létszám- és trófeaadatok az Országos Vadgazdálkodási Adattárból és a Kaszó Erdőgazdaság Zrt. kimutatásaiból – a létszámbecslési jelentésekből, a vadállomány hasznosítási jelentésekből és a trófeabírálati adatlapokból – származnak.

Általános ismeretek a gímszarvasról

A gímszarvas (*Cervus elaphus*) régies elnevezése rőt vad. Európa legnagyobb részét, Nyugat- és Közép-Ázsiát népesíti be, de megtalálható Észak-Afrikában is. Betelepítették Ausztráliába, Új-Zélandra, Argentínába és Chilébe is. Ennek megfelelően sok alfaja létezik. Magyarországon a kelet-európai gímszarvas (*Cervus elaphus hippelaphus*) alfaj él.

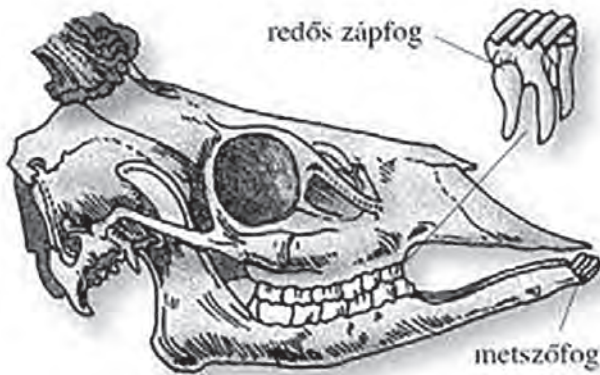
A hímeket bikának, a nőstényeket tehénnek, az egyéves nőivarú egyedeket ünőnek, az utódokat pedig borjúnak nevezik. A rétekekkel tarkított lomberdőket kedveli, de szívesen jár ki a mezőgazdasági területekre is. A természetben kb. 16-18 évig, fogságban kb. 20-22 évig él. Őse nagyjából 12 millió éve jelent meg Euráziában.

A gímszarvas a legnagyobb vadfajunk. Hossza elérheti a 2 és fél métert is. Marmagassága 150 centiméter, testtömege 200-300 kilogramm is lehet. Ez a bőgési

1. ábra. Rudli

(Forrás: <http://nagyvadfotozas.blogspot.hu>)





2. ábra. A szarvas koponyája és fogazata  
(Forrás: <http://www.mozaweb.hu>)

időszakban 25-30 százalékkal is csökkenhet. Párosujjú patás állat, rejtőszíne van. Farka alatt sárgásfehér folt található, amit a vadászok tükörnek neveznek. Ez szürkületkor is jól látható. Szőrzetüket évente kétszer - ősszel és tavasszal - váltják. A hímek fejdíszre az agancs, szerepe van a rangsor kialakításában és a védekezésben is.

A gímszarvas csordákban - vadásznyelven rudliban – él (1. ábra). A tehenek a borjakkal, a bikák pedig egyedül vagy kisebb csapatokban élnek. Mozgásuk méltóságteljes. Szürkületkor és hajnalban indulnak táplálék után. Szívesen dagonyáznak iszapos tócsákban.

A gímszarvas növényevő. Napi 8-10 órát táplálkozik, ennek felét kérődzéssel tölti. Többüregű, összetett gyomra van. Szemfogai és felső metszőfogai hiányoznak, zápfoga redős felületű (2. ábra). Jellegzetességük a gyöngyfog, ami a felső állkapocsban elhelyezkedő csökevényes szemfog. Ez is trófea. Lágyszárúakat, fiatal fák és cserjék lombját, rügyeket, makkterméseket fogyaszt. Szívesen jár ki kukoricásba, szántóföldre is. Nyár végén és ősszel nagyon sokat eszik, bőre alatt zsírréteget fejleszt a téli időszakra.

3. ábra. A bika agancsa különböző életkorban  
(Szerzők felvétele)



Augusztus közepétől október elejéig tart a szarvasbőgés. A bőgés a bikák jellegzetes hangja az „udvarlás” idején. Ilyenkor meg is mérkőznek egymással, fegyverük az agancs. A vemhesség ideje 231-238 nap, az ellés főleg májusban történik. A tehén egy borjút hoz világra és kicsinyét 6-8 hónapig szoptatja. Az ünőborjú élete végéig az anyjával marad és a csapat tagja lesz, a bikaborjú kb. 1-1,5 évig marad az anyjával, majd a bika csapatokhoz csatlakozik.

A „státus szimbóluma”

„Az agancs a vadásznak trófea, az állat kedvelőnek egy csodálatos képződmény, a zoológusnak egy természeti törvény kuriózuma, a szarvasnak pedig a státus szimbóluma.”  
(Goss, 1983).

A bikaborjú első agancsa kb. 16 hónapos korára fejlődik ki. Ettől kezdve minden évben újabb és nagyobb agancsot növeszt miután az előző évit elhullajtotta (3. ábra). Az agancshullajtás hormonális változások hatására történik, és február közepétől április végéig tart.

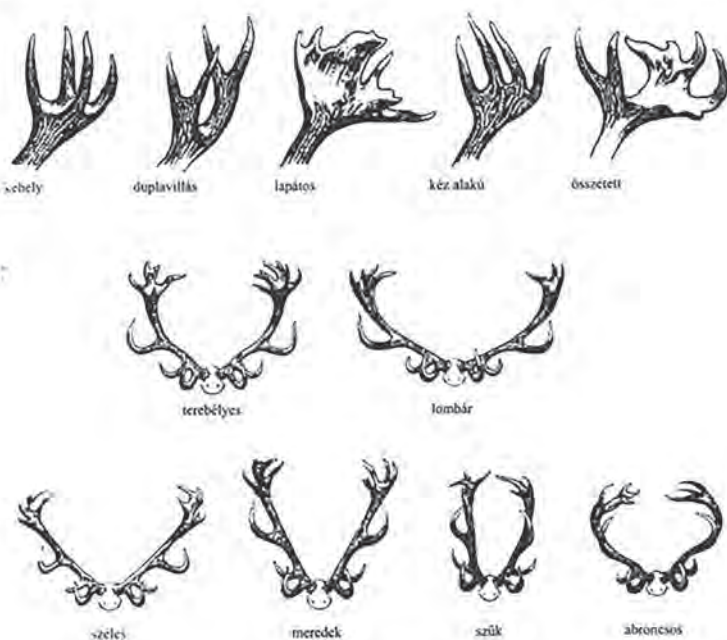
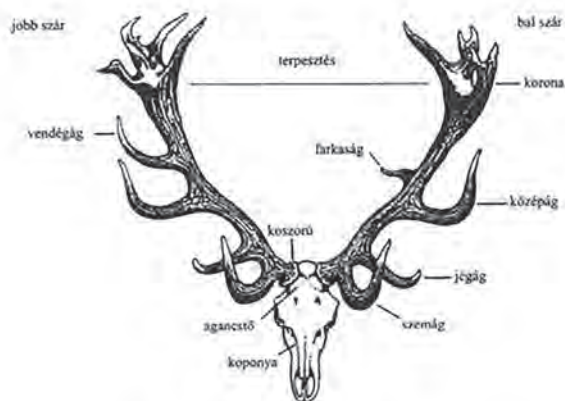
Pár nappal azután, hogy a bika elhullajtja agancsát, a rózsatőn már növekedni kezd az új agancs. Az agancsképződés időtartama kb. 150 nap, a növekedés naponta 0,2-1,0 centiméter is lehet. A legnagyobb agancsméretet kb. 12-14 évesen éri el, ekkor kulminálnak. Ezután a bika agancsa hanyatlik, vadásznyelven „visszarak”. Az agancs növekedését, alakját, ágainak számát a szarvas állapota, kondíciója is befolyásolja. Ha az állat beteg, vagy táplálkozása nem megfelelő, akkor az agancs is visszafejlődik.

A fiatal, hancsos agancs víztartalma nagy. Kezdetben még vérerekben gazdag, érzékeny bőr borítja, amit a bikák nagyon óvnak a sérüléstől. Ilyenkor az állat kerüli a sűrűt. A csontosodás során az agancs megkeménye-

4. ábra. Az agancs belső szerkezete  
(Szerzők felvétele)







5. ábra. Az agancs felépítése, formái

dik, a hancs elhal, amit a bika letisztít (4. ábra). A csontosodás idején az állatnak több ásványi anyagra, főleg kalciumra és foszforra van szüksége. Mivel ennyit nem képes táplálék útján felvenni, ezért a hiányzó kalciumot a csontjaiból vonja ki, ami csonttritkulást okozhat nála. Ebben az időszakban akár 4-5 kilogramm anyagot is kivonhat a 25-28 kilogrammos csontszerkezetéből, amit 2-3 hónap alatt visszapótol.

#### A gímszarvas vadászati értéke

A gímszarvas agancsa, húsa és bőre is nagyon értékes. Létszámát vadászattal szabályozzák, kilövését vadászati törvény írja elő. Külföldi vadászok is gyakran keresik fel hazánkat a nemes vadállomány és a vadászat élménye miatt is. A gímszarvast elsősorban a tróféáért vadásszák (5-6. ábra).

Trófeabírálatkor mérhető tulajdonságokat és szépségeket is figyelembe vesznek. Ezek összesített pontértéke adja a trófea minősítését, a vad vadászati értékét, és jelzi a vadgazdálkodás színvonalát is. Ma az úgynevezett CIC képlet alapján bírálják az agancsokat. A vadgazdálkodóknak kötelező évente lejelenteni ezeket. A trófea bírálati adatokat az Országos Vadgazdálkodási Adattár gyűjti. Az állat elhullajtott agancsából dísz tárgyakat, késnyeleket, gombokat is készítenek. Nagy részét a Távol-Keletre exportálják, porrá zúzzák és gyógyszergyártásra használják.

Délkelet-Ázsiában évezredes hagyomány, hogy a szarvasbikák még hancsos agancsát levágják, és ebből vonják ki a pantokrint. Használják gyógyszerként, az öregedés késleltetésére, az állóképesség fokozására a



6. ábra. A korona típusai (Szerzők felvétele)

sportban és wellness programok részeként is. Egyes európai országokban állatvédelmi rendelkezések tiltják a hancsos agancs levágását.

#### Vadászat, vadgazdálkodás

A vadászat ősi tevékenység, kezdetben az ember életszükségleteinek forrása volt. Sikerétől függött a közösség léte, az őseimbek így jutottak élelemhez, ruházathoz. A vadászatnak az ókorban is fontos szerepet tulajdonítottak, istennője volt a görögöknél és a rómaiaknál is. A középkorban kiváltsággá vált a vadászat, a legfontosabb földesúri jog volt. Minket, magyarokat eredetmonda is köt hozzá. A „Rege a csodaszarvasról” című monda szerint Hunor és Magor egy gímszarvast üldözve jutottak el a Kárpát-medencébe.



7. ábra. Szarvasfarm (Szerzők felvétele)

Napjainkban vadászat alatt a köznyelv az állatok elejtését érti húruk vagy más részeik megszerzése érdekében, a szórakozás, a kikapcsolódás vagy a kereskedelem céljából.

Régen annyi volt a vad, hogy az emberek számukat jelentősen nem befolyásolták, létüket nem veszélyeztették. A civilizáció elterjedése, a megművelt területek térhódítása következtében a vadállomány egyre szűkebb helyre szorult, létszáma egyre csökkent. Szükségessé vált a vad életének megismerése, tenyésztése és a vadászat korlátozása. Így jött létre a vadgazdálkodás. A vadászat a vadgazdálkodás része lett, „a vad elejtésére vagy elfogására irányuló, a vadállományt szabályozó tevékenység, amelyet a jogszabályban meghatározott feltételekkel szabad folytatni.” A vadgazdálkodás célja az erdő és a vadállomány közti egyensúly létrehozása és fenntartása: a vad életszükségleteinek biztosítása (búvóhely, dagonya, élelem, víz, só), a terület vadeltartó képességének megfelelő vadlétszám szabályozása, az ivararány szabályozása, a selejtezés és a vadkárok megelőzése. A szigorú és tervszerű vadgazdálkodásnak köszönhetően hazánk Európa egyik vadban leggazdagabb országa. A vad minőségét tekintve az első helyen áll.

#### A zárttéri szarvastartás

Az ember számára a vadon élő állat kezdetben főleg zsákmány volt. Később befogták és megszelídítették őket, mert így biztosabb táplálékforrást jelentettek. Amikor a vadászat már sport és szórakozás is lett, a biztosabb teríték érdekében bizonyos vadfajokat kerítésel körülzárt vadaskertekben tartottak.

Európában régóta ismert a gímszarvas vadaskertben történő tartása. Magyarországon több neves uralkodónak (IV. Béla, Nagy Lajos, Zsigmond, Mátyás király), az 1700-as évektől pedig a gazdagabb főuraknak is volt vadaskertjük, ahol vadászatokat rendeztek. A szarvashús az előkelő réteg étlapjáról ritkán hiányozhatott.

Az újkori szarvastenyésztés kezdete az 1960-as évek-re tehető, amikor az európai gímszarvast betelepítették Új-Zélandra. Az első gímszarvasok angolai és skóciai vadasparkokból kerültek ide. Rövidesen elindult az állatok farmszerű tartása, tenyésztése és nemesítése is, többek között a kiváló minőségű magyar szarvassal. Sok új-zélandi szarvas ereiben magyar vér is kering. Jelenleg mintegy 3000 farmon kb. hárommillió gímszarvast tartanak. Az új-zélandihoz hasonló zárttéri gímszarvastenyésztés indult el hazánkban is.

Ma a törvény többféle vadtenyésztésre ad lehetőséget. A vadfajok tartása történhet vadaskertekben vadászati célból, vadfarmokon élelmiszer előállítás céljából, illetve vadasparkokban kutatási, oktatási, bemutatási célból.

Hazánkban a legnagyobb gímszarvas-háziasítási program Kaposváron folyik. 1984-ben indult és Gálosfán létesült az első kísérleti telep. 1991-ben jött létre



8. ábra. Középkorú bika agancsa (Szerzők felvétele)

9. ábra. Öreg bika agancsa (Szerzők felvétele)







10. ábra. Selejtes agancs (Szerzők felvétele)

Bőszénfán a második gímszarvastelep, melyet zömében vadon befogott állománnyal töltöttek fel. Azóta sikerült itt egy olyan gímszarvasállományt létrehozni, amely kiválóan alkalmazkodott a farmszerű tartáshoz.

#### Bőszénfa

Egy természetjáró szakkör alkalmával Bőszénfára látogattunk, hogy testközelből megnézhessük az ott élő gímszarvasokat, és megismerkedjünk a zárttéri állattartás itt alkalmazott formáival (7. ábra). Csoportvezetőnket kérdeztük a farm kialakulásáról, a tenyésztett állatokról, gondozásukról és a zárttéri szarvastartás előnyeiről.

A terület a Kaposvári Egyetem Vadgazdálkodási Tájközpontja. Ez Magyarország legnagyobb zárttéri vadgazdasága, közel 3000 állat él itt. Ugyanitt vadfarm és vadaskert is működik.

1300 hektáron élnek az állatok. Ez magába foglalja a vadfarm 300 hektáros területét, ahol kb. 700 állat él, és egy 600 hektáros bekerített szarvaskertet is, ahol vadásztatás és erdőgazdálkodás is folyik. A farm kialakítása 30 éve indult kísérleti programként Közép- és Kelet-Európa vadhúsellátásának céljából. Azóta vadfeldolgozó üzemük is van. Jelenleg oktatási, kutatási és termelési célokat szolgál. A vadfajok mellett háziállatokat is tartanak.

A területen kb. 1500 gímszarvas él. A szarvastartásnál az új-zélandi típusú mintát követték. A gímszarvasok Lábodról, Gemencről, Zselicből, az Ormánságból és a Kaszói Erdőgazdaság területéről kerültek ide. A legidősebb

példány 21 éves. Naponta egyszer etetik őket szénával és erjesztett takarmánnyal. Az ivararány kb. 50-50%. Évente kb. 200 borjú születik. A létszámot a szarvaskertben kilövésével, a vadfarm részén az állatok eladásával, húruk értékesítésével szabályozzák. Kábító lövedékekkel vagy hálójával fogják be őket. A szarvasok egészségi állapota jó, ezt folyamatosan ellenőrzik.

Az állat húsát és elhullajtott agancsát is értékesítik. A legtöbb Kínába kerül, ahol gyógyszer gyártanak belőle. Az eddigi legnagyobb trófea 14 kilogrammos volt.

Megtekintettük a trófeakiállítást is. Láttuk az agancs fejlődését, az egyes agancságak kialakulását, a kulmináló (8. ábra) és a visszarakó bika agancsát (9. ábra) és



11. ábra. Egy betegség miatt elhullott bika agancsa (Szerzők felvétele)

selejtes trófeákat (10. ábra) is. Megtudtuk azt is, hogy a szarvas agancsa a letisztítás közben színeződik barnára, egyébként fehér (11. ábra). Színét a fa kérge és a rajta maradt vérszennyezések adják.

1996-ban Bőszénfán forgatták a Honfoglalás című film szarvasjelenetét. A „csodaszarvas” trófeája ma már kiállítva látható a trófeaházban (12. ábra).

#### A kaszói gímszarvas története

Somogy megye dél-nyugati részén található a Kaszói Erdőgazdaság Zrt. A területen szakszerű erdő- és vadgazdálkodás folyik, az utóbbi évszázados hagyományokkal bír. A terület ideális élőhely a gímszarvas számára. Az erdők legnagyobb részét tölgyesek adják, amelyek búvóhelyet és táplálékot kínálnak. Több állóvíz, lápos, mocsaras terület is található a térségben, ezek kiváló helyek a vadak dagonyázására.

A vadászterület nagysága kb. 25000 hektár. Ennek egy része mezőgazdasági művelés alatt áll, ami azért lényeges, mert a szarvas nyáron kihúzódik a mezőgazdasági területekre, ősszel pedig visszatér az erdőbe. Ez nagy vadkárrel jár, de a földeken a vad jobb kondícióra tesz szert, így az állományra ez kedvezően hat.

Kaszó és környéke már a XIX. század végén kedvelt vadászterület volt a főúri családok körében. Régi írások fennmaradásából arra következtetünk, leginkább mezőgazdasági földterületek és legelőerdők jellemezték ekkor a kaszói területet, ahol főleg apróvad, fácán, őz élt. Az itt élő gímszarvas állomány felvirágoztatá-



12. ábra. A csodaszarvas agancsa (Szerzők felvétele)

sa 1911-ben kezdődött, amikor Hohenlohe főherceg megvásárolta ezt a vidéket (13. ábra). Javorinai birtokáról hozta embereit is. Az itt élő gímszarvas világhírűvé emelése a hercegnek, fővadászának Vogl Henriknek és a Javorinából betelepült erdész-vadász családoknak az érdeme (Plucsinzski család, Pitonyák család) (14. ábra). „A somogyisobi állomány Magyarország legjobb szarvasállománya volt 1928-1950-ig... 1925-től 1944-ig ebből az állományból került ki a legtöbb díjas agancs.” (Szedzerjei 1960).

A herceg 1925-ben meghalt. Halála után 1961-ig nem vadgazdálkodás volt, hanem inkább vadirtás. Ebben az évben került a Kaszói Erdészeti a Dél-Somogyi Állami Erdőgazdasághoz, 1967-től pedig a Honvédelmi Minisztériumhoz. 1979-ben az erdészeti teljes területét bekerítették. A bekerítés célja a vadkár csökkentése volt, és az, hogy a szarvasállomány kiváló minőségét megőrizték. Ehelyett azonban az állomány leromlott, a szarvasok testtömege és trófea tömege jelentősen lecsökkent.

Mennyiségi és minőségi változások a kaszói gímszarvasállományban

A mennyiségi változásokat a létszámbecslési és a kilövési adatok mutatják. A létszámbecslést évente végzik. Külön becslik a bikát, a tehenet és a borjút. Az ünőket a tehenekhez számolják. A minőségi változásokat a



13. ábra. Hohenlohe főherceg



14. ábra. Gróf Széchenyi Zsigmond (jobbról a negyedik) és Pitonyák János (balról az első) szalonkázás után

kilőtt bikák trófea bírálati adatai mutatják: az érmes agancsok száma, a trófeatömeg, a lőtt bikák életkora. Az erdőgazdaság évente köteles ezeket az adatokat lejelenteni. Az adatokat táblázatba foglaltuk és grafikonon ábrázoltuk. A grafikonon jelöltük a bekerítés időszakát.

Mennyiségi változások a gímszarvas állományban

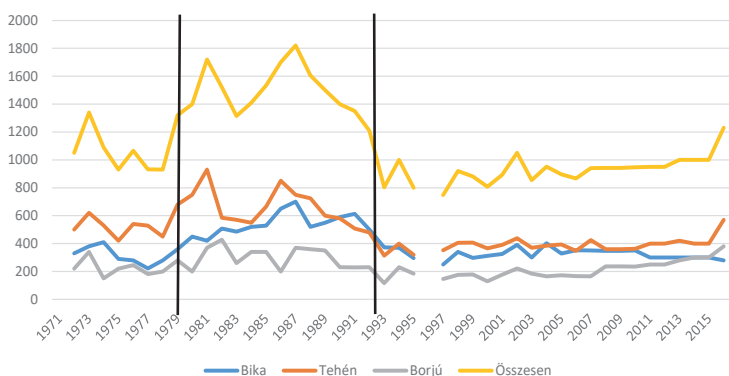
A bekerítés előtt a szarvasállomány létszáma 1000 darab körül alakult. Az ivararány azt mutatja, hogy a tehenek voltak többségben. 1979-ben kezdődött a bekerítés. Ettől kezdve a kaszói vadászterület vadaskertként működött. A bekerítés ideje alatt a létszám jelentősen megnőtt, jóval 1000 darab felett volt. Az ivararány a hím egyedek felé tolódott el. A kilövések száma is nagymértékben nőtt. Nagyon sok állat — főleg szarvasbika — el is pusztult. A kerítés lebontása



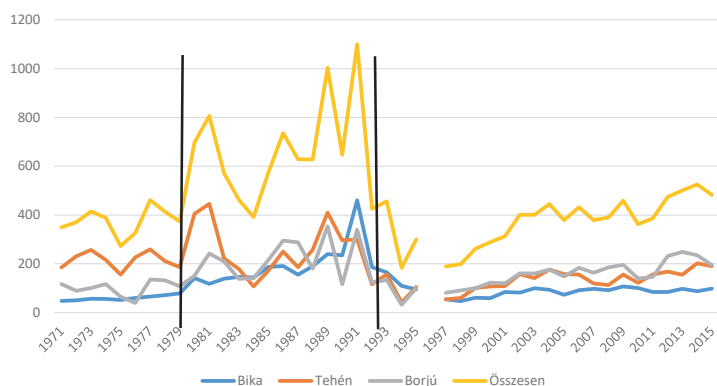


| Érmes agancsok |            |            |            |            |                   |
|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|
| Év             | Arany (db) | Ezüst (db) | Bronz (db) | Összesen   | Érmes trófeák (%) |
| 1989           | 0          | 1          | 3          | 45         | 8,88              |
| 1990           | 6          | 12         | 35         | 186        | 28,49             |
| 1991           | 8          | 25         | 42         | 220        | 34,09             |
| 1992           | 8          | 15         | 50         | 167        | 43,71             |
| 1993           | 2          | 13         | 28         | 114        | 37,71             |
| 1994           | 3          | 12         | 29         | 82         | 53,65             |
| 1995           | 2          | 11         | 30         | 77         | 55,84             |
| 1996           | 2          | 9          | 21         | 55         | 58,18             |
| 1997           | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat        |
| 1998           | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat        |
| 1999           | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat        |
| 2000           | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat | nincs adat        |
| 2001           | 4          | 9          | 23         | 85         | 42,35             |
| 2002           | 5          | 8          | 26         | 86         | 45,34             |
| 2003           | 4          | 16         | 30         | 105        | 47,61             |
| 2004           | 4          | 20         | 28         | 94         | 55,31             |
| 2005           | 2          | 21         | 15         | 76         | 50                |
| 2006           | 5          | 11         | 28         | 87         | 50,57             |
| 2007           | 5          | 25         | 30         | 95         | 63,15             |
| 2008           | 2          | 29         | 28         | 97         | 60,82             |
| 2009           | 5          | 14         | 19         | 108        | 35,18             |
| 2010           | 2          | 10         | 30         | 104        | 40,38             |
| 2011           | 4          | 10         | 23         | 81         | 45,6 %            |
| 2012           | 2          | 10         | 25         | 82         | 45,1 %            |
| 2013           | 3          | 16         | 19         | 96         | 39,5 %            |
| 2014           | 2          | 10         | 16         | 61         | 45,9 %            |
| 2015           | 4          | 17         | 37         | 99         | 58,5 %            |
| 2016           | 3          | 13         | 33         | 79         | 62 %              |

| 10 kg-ot meghaladó trófeák aránya |            |      |       |
|-----------------------------------|------------|------|-------|
| 1989                              | 0 %        | 2003 | 2,8 % |
| 1990                              | 1,6 %      | 2004 | 3,2 % |
| 1991                              | 2,2 %      | 2005 | 2,6 % |
| 1992                              | 3,2 %      | 2006 | 3,4 % |
| 1993                              | 1,7 %      | 2007 | 2,1 % |
| 1994                              | 2,4 %      | 2008 | 0 %   |
| 1995                              | 1,3 %      | 2009 | 1,9 % |
| 1996                              | nincs adat | 2010 | 1,9 % |
| 1997                              | nincs adat | 2011 | 3,7 % |
| 1998                              | nincs adat | 2012 | 1,2 % |
| 1999                              | nincs adat | 2013 | 3,1 % |
| 2000                              | nincs adat | 2014 | 5,6 % |
| 2001                              | 3,5 %      | 2015 | 3 %   |
| 2002                              | 4,6 %      | 2016 | 5 %   |



15. ábra. Létszám adatok



16. ábra. Kilövési adatok

1989-ben kezdődött és 1992-re fejeződött be. Ezután a létszám csökkent, ami a kilövéseknek és a kivándorlásoknak az eredménye. A kerítés lebontása után a létszám egy viszonylag állandó érték körül állt be.

Minőségi változások a gímszarvas állományban

Sajnos a bekerítés előtti és alatti időszakból nincsenek trófeaadatok, erre az időszakra vonatkozóan korábbi vizsgálati adatokra (Ritecz, 1995) tudunk támaszkodni. 1989-től már a kapott trófeabírálati eredményekkel dolgozhattunk.

A bekerítés előtti időszakban az érmes trófeák aránya magas volt (40-60 %). A kapitális (10 kilogramm feletti) arány 8 % körül volt. A bekerítés alatt az érmes agancsok aránya jelentősen lecsökkent, nem ment 28% fölé. A kapitális trófeák aránya is csak 1-2% volt. A kilőtt bikák életkora 9-10 évről kb. 6 évre csökkent. Tömegük lecsökkent, a tehenek testtömege meggyezett más területen élő borjak súlyával. Ezek a gímszarvasállomány jelentős minőségbeli romlását jelzik,

amelyet a túlnépesedés és a táplálékhiány okozhatott. A kerítés lebontását követően az érmes arány növekedni kezdett, 1994-re elérte a bekerítés előtti időszakra jellemző 50 %-os értéket. A kapitális trófeák arányában is megfigyelhető fejlődés (2-4%). A kilőtt bikák átlagéletkora is kismértékű emelkedést mutat. Ezek már jelzik az állomány minőségi javulását, a vadgazdálkodás eredményességét.

### Összegzés

A gímszarvas eszmei és gazdasági szempontból is a legfontosabb vadfajunk, amely a legértékesebb trófeát adja. A vaddal való gazdálkodás nagy szakértelmet, odafigyelést és tervszerűséget igényel. Csak a megfelelő létszámú vadállomány fenntartása teszi lehetővé a legjobb minőségű, legértékesebb trófeát hordozó példányok nevelését.

A zárttéri szarvastartásnak bizonyosan sok előnye van, de a vad szempontjából a szabad tartás a nagyobb élettér, a szabad mozgás és a természetes táplálékforrások előnyösebbnek bizonyultak. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a kaszói gímszarvas állomány romlása átmeneti volt, tartósan nem károsodott. A híres „somogyi szarvasra” ma már újra a kiváló minőség jellemző, ami köszönhető a kiváló genetikai háttérnek, az élőhely adottságainak és az itt dolgozó szakemberek szaktudásának.

KOVÁCS JOHANNA ÉS MELLES MÁRK

### IRODALOM

- Csákány Antalné- Dombóvári László- Hartdégenné Rieder Éva: Természetismeret NAT 2012. 27- 30. o.
- Millenniumi Vadászati Almanach Somogy megye, Országos Magyar Vadászkamara Somogy Megyei Területi Szervezete 2001. 149-155.o.
- Ritecz Tamás (1995): A kaszói szarvasállomány minősége, kondíciója és egészségi állapota, Diplomadolgozat, Kaposvár
- Fehér Sára (2012): Vadgazdálkodás — A kaszói vadgazdálkodás és a gímszarvas állomány legfőbb változásainak bemutatása, RKTDK pályamunka Csurgó CSVMRG  
[http://www.vadaszat.net/hirek/2013/a\\_vadfarmokrol.pdf](http://www.vadaszat.net/hirek/2013/a_vadfarmokrol.pdf)
- Gímszarvas In: Wikipédia  
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Gímmszarvas>
- Vadgazdálkodás In: Wikipédia  
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Vadgazd%C3%A1lkod%C3%A1s>
- Horn Péter: A gímszarvastenyésztés mint új állattenyésztési ágazat In: Magyar Tudomány 2004/4.  
<http://www.matud.iif.hu/04apr/05.html>
- Feiszt Ottó: Gr. Széchenyi Zsigmond a szarvasvadász, avagy egy beteljesületlen vadászálom In: Országos Magyar Vadászkamara  
<http://www.omvk-zala.hu/vadaalom.htm>





1



2

3



4

### Illusztrációk a *Magyar vízutatók a Szaharában* című cikkhez

1. Itatás és vízfordás a Water Drilling Unit által létrehozott kúton.
2. Egy száraz vádiban geoelektromos szondázással határozzuk meg, milyen mély a törmelékeny üledék vastagsága, amely még vizet tartalmazhat. Az elektromosságot az autó akkumulátora szolgáltatja.
3. „Közlekedés” Csádban: fiatal csádi nő számárháton Iriba külterületén a porviharban.
4. Már a legkisebbeket is befogják a munkába. Igen, nekik is cipelniük kellett a vizeskannákat



